

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:
CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS SOLDADAS POR FRICCIÓN
MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN Y TORSIÓN PARA
MATERIALES: ACERO AISI 1018, ACERO AISI 1045, ALUMINIO Y
BRONCE SAE 40 DE 10mm DE DIÁMETRO**

**AUTORA:
CARMEN DIANA CASTRO LISINTUÑA**

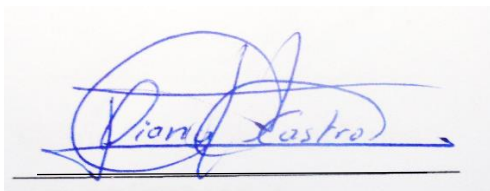
**TUTOR:
MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

Quito, febrero del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Carmen Diana Castro Lisintuña, con documento de identificación N°1720195294, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo de Titulación: “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS SOLDADAS POR FRICCIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN Y TORSIÓN PARA MATERIALES: ACERO AISI 1018, ACERO AISI 1045, ALUMINIO Y BRONCE SAE 40 DE 10 mm DE DIÁMETRO”, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Mecánica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Carmen Diana Castro Lisintuña

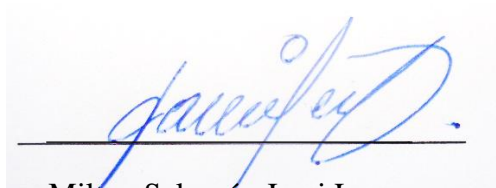
C.I: 172019529-4

Quito, febrero del 2018

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS SOLDADAS POR FRICCIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN Y TORSIÓN PARA MATERIALES: ACERO AISI 1018, ACERO AISI 1045, ALUMINIO Y BRONCE SAE 40 DE 10 mm DE DIÁMETRO” realizado por Carmen Diana Castro Lisintuña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2018.



Milton Salomón Jami Lema

C.I.: 170725417-4

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi hijo FELIPE NICOLAS TIRIRA CASTRO, que con su hermosa sonrisa me inspiro a seguir superándome como persona, a seguir sus sueños y los míos.

Dedico a mi madre que me impulso a seguir y siempre me recordó que no debía detenerme.

Dedico a mi esposo por ser ese compañero de vida.

Diana Castro

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la vida por darme esta oportunidad, a mi familia, a mis padres y a mi esposo, Alexander, por todo su apoyo.

Agradezco al Ingeniero Milton Jami por su guía para la realización de este trabajo con toda su predisposición.

Diana Castro

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana se cuenta con una máquina de soldadura por fricción, para impartir una enseñanza didáctica del proceso de soldadura por fricción la cual permite la unión de dos probetas mediante la generación de calor por fricción.

En esta máquina de soldadura por fricción no se cuenta con las características, datos del comportamiento y la calidad de la soldadura que se obtiene mediante este proceso de soldadura que debe ser parte del estudio de la Tecnología de Soldadura por fricción.

Razón por la cual se ha visto la necesidad de realizar la caracteriza de la tracción – torsión en diferentes materiales.

MARCO REFERENCIAL

Con el proyecto se pretende obtener datos de las características y comportamiento de los diferentes materiales soldados mediante este procedimiento de soldadura por fricción, en este proyecto se realizará ensayos de tracción y torsión en probetas de 10 mm de acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio, bronce SAE 40.

Este análisis permite determinar la calidad de la soldadura por fricción realizada en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

ALCANCE

Para realizar la caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión de la soldadura se realizará las siguientes actividades:

- Preparar de probetas de acuerdo a la norma INEN 109:2009 y especificaciones técnicas de dicha máquina de soldadura por fricción (acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio, bronce SAE 40 de 10 mm de diámetro).
- Realizar cuatro ensayos de tracción de acuerdo a normas técnicas en las probetas indicadas.
- Realizar cuatro ensayos de torsión de acuerdo a normas técnicas en las probetas indicadas.
- Recopilar y tabular de datos.
- Analizar del comportamiento de los materiales en base a datos obtenidos.

OBJETIVOS

a) Objetivo General

Realizar la caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión para materiales: acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio y bronce SAE 40 de 10mm de diámetro.

b) Objetivos Específicos

- Seleccionar alternativas de acuerdo a normas de ensayos de tracción y torsión para materiales metálicos, para equipo de ensayos (maquina universal de ensayos)
- Analizar y tabular datos de los ensayos de tracción y torsión de probetas de acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio, bronce SAE 40 de 10 mm de diámetro, para obtener Tablas referenciales de la soldadura por fricción.
- Analizar la caracterización de la soldadura por fricción, con datos obtenidos en los ensayos, y ejecutar Tablas de referencia para posibles aplicaciones.
- Realizar el análisis de costos y ventajas económicas.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	vi
MARCO REFERENCIAL.....	vii
ALCANCE.....	viii
OBJETIVOS	ix
ÍNDICE.....	x
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
GLOSARIO	xvii

INTRODUCCIÓN	1
---------------------------	----------

CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	3

1.1. Introducción.....	3
1.2. Soldadura por fricción de torque continuo	4
1.3. Condiciones necesarias en la soldadura por fricción.....	5
1.4. Factores que influyen en la calidad de la soldadura por fricción	5
1.4.1. Influencia de la velocidad rotacional	6
1.4.2. Influencia de la presión axial	6
1.4.3. Influencia del tiempo de calentamiento	7
1.5. Parámetros del equipo de soldadura por fricción	7
1.6. Aplicaciones de la soldadura por fricción	7
1.7. Aplicaciones en el área automotriz.....	8
1.8. Ventajas y desventajas de la soldadura por fricción.....	9
1.9. Materiales para probetas soldadas por fricción	9
1.9.1. Acero AISI 1018.....	10
1.9.2. Acero AISI 1045.....	10
1.9.3. Aluminio	11
1.9.4. Bronce SAE 40	12
1.10. Características de la soldadura por fricción de los aceros al carbono	13
1.11. Características de la soldadura por fricción de las aleaciones de aluminio	13

CAPÍTULO II	
FABRICACIÓN Y SOLDADURA DE PROBETAS.....	15

2.1. Fabricación de probetas	15
2.2. Cantidad de probetas para ensayos de tracción y torsión	15
2.3. Parámetros de soldadura.....	16
2.3. Soldadura de las probetas de acero AISI 1018	16
2.4. Soldadura de las probetas de acero AISI 1045	17
2.5. Soldadura de las probetas de aluminio	18
2.6. Soldadura de las probetas de bronce SAE 40	19
2.7. Encogimiento axial de las probetas después de la soldadura por fricción.....	21

CAPÍTULO III	
ENSAYOS DE TRACCIÓN, TORSIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	24
3.1. Ensayo de tracción.....	24
3.1.1. Esfuerzo de fluencia.....	26
3.1.2. Resistencia a la tracción.....	26
3.1.3. Módulo de elasticidad.....	27
3.1.4. Gráficas y análisis de datos del ensayo de tracción para el acero AISI 1018.....	29
3.1.5. Gráficas y análisis de datos del ensayo de tracción para el acero AISI 1045.....	34
3.1.6. Gráficas y análisis de datos del ensayo de tracción para el aluminio.	38
3.2. Ensayo de torsión	42
3.2.1. Torsión.....	42
3.2.2. Esfuerzo cortante y deformación angular	43
3.2.3. Tablas de resultados y análisis de datos del ensayo de torsión para el acero AISI 1018.....	45
3.2.4. Tablas de resultados y análisis de datos del ensayo de torsión para el acero AISI 1045.....	46
3.2.5. Tablas de resultados y análisis de datos del ensayo de torsión para el aluminio.	47
3.3. Costos del proyecto técnico.....	48
3.4. Ventajas económicas de la soldadura por fricción	48
CAPÍTULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
4.1. Conclusiones.....	49
4.2. Recomendaciones	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros del equipo de soldadura por fricción.....	7
Tabla 2. Propiedades mecánicas y composición química del acero AISI 1018	10
Tabla 3. Propiedades mecánicas y composición química del acero AISI 1045	11
Tabla 4. Propiedades mecánicas y composición química del aluminio	12
Tabla 5. Propiedades mecánicas y composición química del Bronce SAE 40	13
Tabla 6. Cantidad de probetas para cada ensayo centrado	16
Tabla 7. Parámetros de soldadura	16
Tabla 8. Resultado de análisis por Espectrometría de Chispa del bronce SAE 40	20
Tabla 9. Encogimiento axial de las probetas de acero AISI 1018.....	22
Tabla 10. Encogimiento axial de las probetas de acero AISI 1045.....	23
Tabla 11. Encogimiento axial de las probetas de aluminio.....	23
Tabla 12. Resultados del ensayo de tracción del acero AISI 1018	31
Tabla 13. Encogimiento de las probetas de acero AISI 1018	31
Tabla 14. Resultados del ensayo de tracción del acero AISI 1045	36
Tabla 15. Encogimiento de las probetas de acero AISI 1045	36
Tabla 16. Resultados del ensayo de tracción del aluminio	40
Tabla 17. Encogimiento de las probetas de aluminio.....	40
Tabla 18. Resultados del ensayo de torsión del acero AISI 1018	45
Tabla 19. Resultados del ensayo de torsión del acero AISI 1045	46
Tabla 20. Resultados del ensayo de torsión del aluminio	47
Tabla 21. Análisis de costos del presente trabajo.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Soldadura por fricción	4
Figura 2. Trazado de los parámetros seleccionados en función del tiempo relativo a las tres fases del proceso de soldadura por fricción de accionamiento directo.	6
Figura 3. Aplicaciones de la soldadura por fricción en el área eléctrica.....	8
Figura 4. Aplicaciones de la soldadura por fricción en el área automotriz.....	8
Figura 5. Dimensiones de las piezas y probeta	15
Figura 6. Soldadura por fricción del acero AISI 1018	17
Figura 7. Probetas soldadas por fricción de acero AISI 1018.....	17
Figura 8. Soldadura por fricción del acero AISI 1045	18
Figura 9. Probetas soldadas por fricción de acero AISI 1045.....	18
Figura 10. Soldadura por fricción del aluminio	19
Figura 11. Probetas soldadas por fricción de aluminio.....	19
Figura 12. Soldadura por fricción del bronce SAE 40	20
Figura 13. Maquinado de probetas soldadas	21
Figura 14. Probeta en la máquina de ensayos	25
Figura 15. Diagrama esfuerzo-deformación	26
Figura 16. Carga-desplazamiento de P1 de acero AISI 1018	29
Figura 17. Carga-desplazamiento de P2 de acero AISI 1018	29
Figura 18. Carga-desplazamiento de P3 de acero AISI 1018	30
Figura 19. Carga-desplazamiento de P4 de acero AISI 1018	30
Figura 20. Fractura del ensayo de tracción del acero AISI 1018	32
Figura 21. Carga-desplazamiento de P1 de acero AISI 1045	34
Figura 22. Carga-desplazamiento de P2 de acero AISI 1045	34
Figura 23. Carga-desplazamiento de P3 de acero AISI 1045	35
Figura 24. Carga-desplazamiento de P4 de acero AISI 1045	35
Figura 25. Fractura del ensayo de tracción del acero AISI 1045	37
Figura 26. Carga-desplazamiento de P1 del aluminio	38
Figura 27. Carga-desplazamiento de P2 del aluminio	38
Figura 28. Carga-desplazamiento de P3 del aluminio	39
Figura 29. Carga-desplazamiento de P4 del aluminio	39
Figura 30. Fractura del ensayo de tracción del aluminio	41
Figura 31. Distribución de esfuerzos cortantes longitudinales y transversales.....	43
Figura 32. Dimensiones de la probeta para el ensayo de torsión	44
Figura 33. Probetas de aluminio maquinadas para el ensayo de torsión.....	44

Figura 34. Probeta sometida a torsión.....	45
Figura 35. Fractura del ensayo de torsión del acero AISI 1018.....	45
Figura 36. Fractura del ensayo de torsión del acero AISI 1045.....	46
Figura 37. Fractura del ensayo de torsión del aluminio.....	47

RESUMEN

En el siguiente trabajo se realiza ensayos de tracción y torsión de probetas en cuatro materiales (acero 1018, acero 1045, aluminio, bronce SAE 40), para obtener datos que nos permitan caracterizar la soldadura por fricción.

Para esto, primero, se realiza una introducción a la soldadura por fricción, estudio de características y composición química de los materiales que se utilizaran. Luego se define medidas de las probetas para ser maquinadas de acuerdo a normas y características de la máquina de soldadura y máquinas para ensayos de tracción y torsión.

Una vez soldadas las probetas se realiza un maquinado para retirar rebabas para posterior a esto realizar ensayos de tracción y torsión en los materiales propuestos. Una vez que obtenemos los datos de los ensayos mencionados se realiza un análisis e interpretación de Tablas de datos, graficas carga – desplazamiento y de las probetas después de dichos ensayos.

Finalmente, se plantea conclusiones y recomendaciones en base a datos, gráficas y figuras que se obtuvieron mediante ensayos de tracción y torsión.

Palabras claves: Soldadura por fricción, probetas, ensayo de tracción, ensayo de torsión.

ABSTRACT

In the following work, tensile and torsion tests of test pieces are carried out in four materials (steel 1018, steel 1045, aluminum, bronze SAE 40), to obtain data that allow us to characterize the welding.

For this first an introduction to friction welding, study of characteristics and chemical composition of the materials that will be used is made. Then, measurements of the specimens are defined to be machined according to standards and characteristics of the welding machine and machines for tensile and torsion tests.

Once the test pieces are welded, a machining process is carried out to remove burrs. After this, tensile and torsion tests are carried out on the four proposed materials. Once we obtain the data of the aforementioned tests, an analysis and interpretation of data tables, load - displacement graphs and of the test pieces after said tests is performed.

Finally, conclusions and recommendations are presented based on the data, graphs and figures obtained.

Keywords: Friction welding, specimens, tensile test, torsion test.

GLOSARIO

- **AISI.-** (American Iron and Steel Institute) sistema para clasificar los aceros. [1]
- **Carga.-** Es la fuerza exterior que actúa sobre un cuerpo. [2]
- **Carga de rotura.-** Límite de rotura. Es la carga máxima por unidad de sección que resiste el material antes de romperse. [3]
- **Ensayo de Tracción.-** El ensayo comprende el estiramiento de una probeta por una fuerza axial de tracción proporcional a sus dimensiones, mediante una máquina para ensayos de tracción para determinar durante su deformación una o más propiedades mecánicas. [4]
- **Ensayo de Torsión.-** Cualquier vector momento que sea colineal con un eje de un elemento mecánico se llama vector de par torsión, porque el momento causa que el elemento se tuerza respecto a ese eje. Una barra sometida a un momento de ese tipo se dice que está sometida a torsión. [5]
- **Ensayos mecánicos.-** Se entiende por ensayos mecánicos, aquellos que pretenden medir la capacidad de un material para soportar esfuerzos de diferente tipo. [3]
- **Esfuerzos.-** En general los esfuerzos pueden actuar sobre una superficie plana, pueden ser uniformes en el área o variar de intensidad de un punto a otro. [6]
- **Fricción.-** Se conoce como fuerza de fricción a la que realiza una oposición al desplazamiento de una superficie sobre otra, o aquella opuesta al movimiento. [7]

- **Límite de elasticidad.-** Es la máxima tensión que se puede producirse sin que haya deformación permanente. [2]
- **Módulo de Torsión.-** Relación entre el incremento de momento torsor en una sección de una barra y el ángulo a torsión girado por la misma por unidad de longitud. En barras de sección constante y material elástico lineal coincide con el módulo de rigidez multiplicado por la constante de rigidez torsional.
- **Momento de Inercia.-** Respecto de un eje, la suma de los productos de multiplicar la masa de cada elemento diferencial de un volumen dado por la distancia al cuadrado de cada elemento a dicho eje. [8]
- **Probeta.-** En general la probeta es maquinada y debe enlazarse por medio de curvas de transición en los extremos de agarre, que deben tener una forma adecuada para agarrarse a las mordazas de la máquina. [4]
- **Resistencia.-** Es cuando la carga actúa y produce deformación. Es la capacidad de un cuerpo para resistir una fuerza aun cuando haya deformación. [2]
- **Soldadura.-** Es el proceso de fabricación en el cual se unen dos materiales distintos, normalmente metales. Esto se logra a través de la coalescencia de varios metales en un cuerpo único. [7]
- **Soldadura por fricción (FRW).-** Es un proceso de soldadura en estado sólido en el que el calor para la soldadura se produce por el movimiento relativo de las dos interfaces que se unen. [9]

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad la caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión en cuatro materiales: acero 1018, acero 1045, aluminio, bronce SAE 40. La soldadura de probetas se realiza en un equipo de soldadura por fricción del laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, con los parámetros que se indican en la tesis de elaboración de este equipo.

La soldadura por fricción es un proceso de soldadura en estado sólido, donde el calor generado por la fricción mecánica entre dos superficies, permite la coalescencia de los materiales. En este trabajo se realizó la soldadura por fricción de torque continuo.

En el primer capítulo se trata, temas de introducción a la soldadura por fricción, características y propiedades de los materiales que se utilizaron en este trabajo.

En el segundo capítulo se trata de la fabricación y la soldadura de probetas.

Las probetas se fabricaron en un torno CNC Emcomat E-200 MC bajo normas técnicas INEN para ensayos de tracción y torsión.

Se maquinaron cuatro probetas por cada material para cada ensayo de tracción y torsión. Los materiales acero 1018, acero 1045, aluminio, se sueldan con los parámetros indicados mientras que el bronce SAE 40 no se suelda por lo que se realiza un análisis espectrográfico, en el departamento de Metalurgia de la Escuela Politécnica Nacional lo que determina porcentajes considerables de elementos aleantes con características anti-fricción, y con esto se determina que no cumple con una de las condiciones que deben tener los materiales para ser soldados por este proceso de soldadura, porque deben generar fricción en la interfaz de la soldadura.

En el capítulo tres se realizó los ensayos y análisis de datos.

Los ensayos de tracción se realizaron en la máquina universal de ensayos del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Politécnica Salesiana y se obtuvieron datos de carga en la máxima deformación, carga máxima, esfuerzo máximo, módulo elástico, esfuerzo de fluencia. Los ensayos de torsión se realizaron en la máquina de ensayos de torsión del laboratorio de materiales de la Universidad Central del Ecuador y se obtuvieron datos de momento torsionante, deformación angular, inercia polar, radio promedio y esfuerzo cortante.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

La soldadura por fricción (FRW) es una clase de procesos de soldadura en estado sólido, donde el calor es generado por la fricción mecánica entre las dos superficies a juntarse, un componente móvil y una estacionaria y, al mismo tiempo, se aplica una fuerza lateral, con el fin de desplazar plásticamente y unir el material. En este tipo de soldadura existe la transformación directa de energía mecánica en energía térmica sin la aplicación de calor desde otra fuente [10].

La soldadura por fricción incluye diferentes tipos en este caso se trata de la soldadura por fricción de torque continuo.

En este proceso, una de las probetas de trabajo está instalada en el mandril rotativo junto con un volante de un peso dado, la pieza entonces gira hasta alcanzar alta velocidad de rotación lo que le proporciona la energía necesaria. Una vez alcanzada la velocidad de rotación, las piezas son forzadas a juntarse bajo presión, logrando la coalescencia de los materiales para obtener la soldadura en estado sólido y sin aporte de materiales. Esta es la técnica de soldadura por fricción rotacional o inercial. La velocidad de rotación, la presión axial y el tiempo de soldadura son las principales variables que se controlan para proporcionar la combinación necesaria de calor y presión para formar la soldadura. Estos parámetros se ajustan para que la interfaz se caliente en el rango de temperatura plástica donde se produce la soldadura por fricción. [11]

Los procesos de soldadura por fricción son automatizables con respecto a los procesos de soldadura (GMAW, TIC, MIG) también son más eficientes en términos de energía, es por esto que su fiabilidad es alta.

La soldadura por fricción se utiliza actualmente en muchas industrias en todo el mundo. La clave para comprender completamente el proceso y sus muchas ventajas

está en la capacidad de visualizar cómo el proceso de soldadura por fricción se puede aplicar en una situación específica. [12]

1.2. Soldadura por fricción de torque continuo

En el esquema de soldadura por fricción de torque continuo mostrada en la Figura 1, una de las piezas de trabajo está conectada a un motor, en tanto que la otra está restringida de modo que no pueda girar, como se indica en la Figura 1 (A). La pieza de trabajo impulsada por el motor gira a una velocidad constante previamente determinada. Las piezas que se van a soldar se juntan y se aplica una fuerza axial de soldadura, como en la Figura 1 (B). Al frotarse una superficie de empalme contra la otra (cara interna de soldadura), se produce calor. Esto continúa durante un tiempo predeterminado o hasta que comienza a formarse el vuelco, como en la Figura 1(C). Se deja de aplicar la fuerza impulsora rotacional y la pieza de trabajo giratoria se detiene por la aplicación de una fuerza de frenado. La fuerza de soldadura por fricción se mantiene o incrementa (fuerza de forjado) durante un cierto tiempo después de que cesa la rotación 1(D). [11]

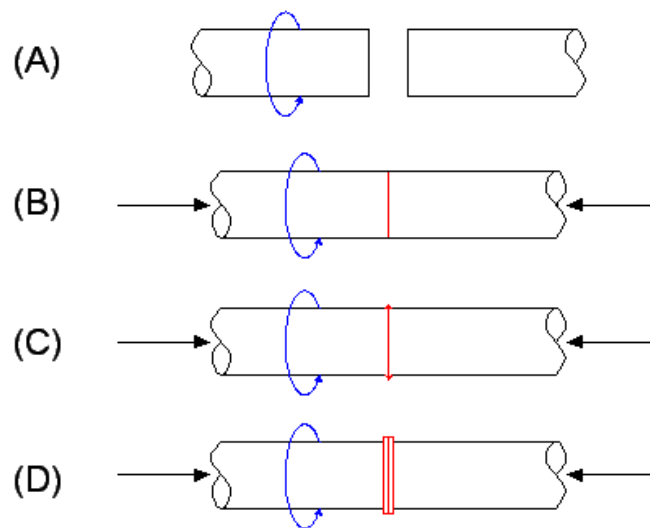


Figura 1. Soldadura por fricción, [11, p. 2]

1.3. Condiciones necesarias en la soldadura por fricción

Existen dos condiciones principales para que los materiales puedan ser soldados por fricción: La primera que puedan ser forjables y la segunda que puedan generar fricción en la interfaz de soldadura.

- El primer requisito elimina las soldaduras de material similar en materiales frágiles tales como cerámica, hierros fundidos y carburos cementados. Sin embargo, a veces se pueden unir materiales dúctiles a estos materiales.
- El segundo requisito elimina materiales que contienen adiciones de aleación que proporcionan lubricación en seco a la interfaz de la junta. Debido a este requisito, puede resultar difícil soldar aditivos para el mecanizado libre de acero, aleaciones que contienen grafito como hierro fundido y aleaciones de plomo. [9]

1.4. Factores que influyen en la calidad de la soldadura por fricción

En la soldadura por fricción intervienen los siguientes factores:

- Velocidad relativa de las superficies.
- Presión aplicada.
- Temperatura de la superficie.
- Propiedades del material a granel.
- Estado de la superficie y presencia de películas superficiales.

Los dos primeros factores están relacionados con FRW, los dos últimos están relacionados con las propiedades de los materiales que se unen, mientras que la temperatura alcanzada es una combinación de parámetros de proceso y propiedades del material.

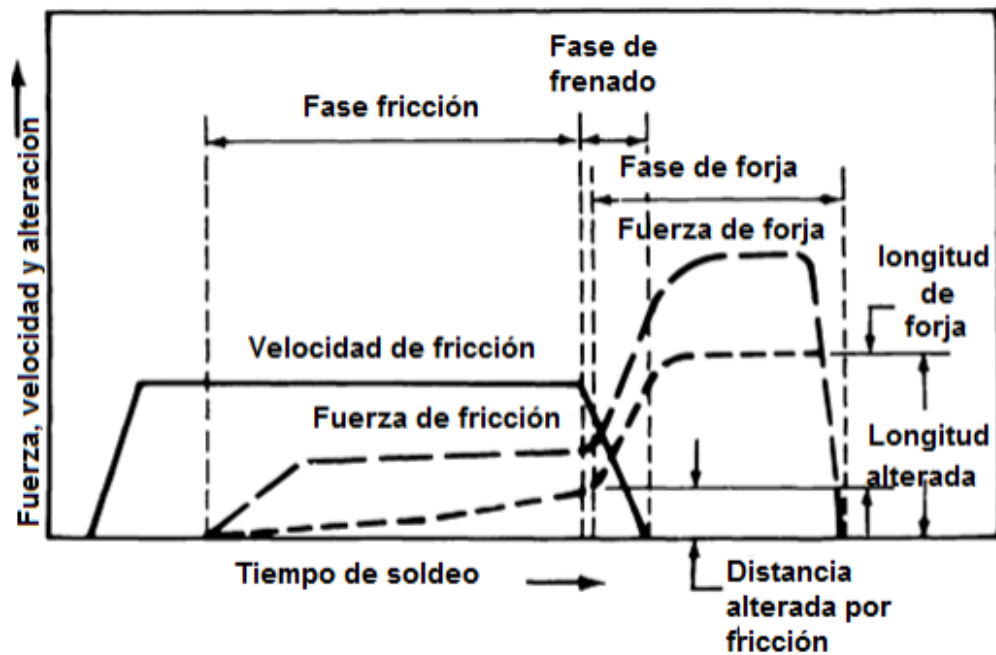


Figura 2. Trazado de los parámetros seleccionados en función del tiempo relativo a las tres fases del proceso de soldadura por fricción de accionamiento directo.

Fuente: [9, p. 180]

1.4.1. Influencia de la velocidad rotacional

Una soldadura satisfactoria puede ser realizada para una amplia gama de materiales y tamaños, con velocidades en el intervalo de 75 a 105 m/min. Las velocidades más bajas no son recomendables debido a los altos pares desarrollados, mientras que una velocidad más alta produce una amplia zona afectada por el calor. [13]

1.4.2. Influencia de la presión axial

La presión es un parámetro importante en la soldadura por fricción, influye en el gradiente de temperatura, así como el par motor y la potencia. La presión de calentamiento elegida debe ser la suficiente para mantener las superficies en contacto íntimo y evitar la contaminación atmosférica, dependiendo también la presión de los materiales que se están soldando y su tamaño. Una baja presión aumenta la zona afectada por el calor debido a la entrada de una insuficiente potencia, mientras que una alta presión haría extruir los materiales plásticos prematuramente, forzando al material frío a entrar en contacto, obteniendo eventualmente defectos en la unión. La presión de forja depende de la resistencia

en caliente de las aleaciones a unir. La presión elegida para esta operación debe ser suficiente para consolidar la unión. [13]

1.4.3. Influencia del tiempo de calentamiento

La duración del calentamiento se considera como el tercer parámetro básico del proceso, aunque depende de la velocidad de rotación y presión. La duración del calentamiento determina la entrada de energía en la unión y se rige por la deformación plástica de los materiales. [13]

1.5. Parámetros del equipo de soldadura por fricción

Los parámetros del equipo de soldadura por fricción se indican en la Tabla 1. La máquina se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana y se la utilizó para realizar la soldadura de probetas de 12 mm de diámetro, de acero AISI 1018, de acero AISI 1045, de aluminio, de bronce SAE 40. [13]

Tabla 1. Parámetros del equipo de soldadura por fricción [11]

Velocidad tangencial	Entre 1.27 a 1.78 m/s.
Presión de calentamiento	Entre 3.17 a 6.13 kg/mm ²
Presión de forja	Entre 7.75 a 15.5 kg/mm ²
Tiempo	Entre 10 y 14 segundos

1.6. Aplicaciones de la soldadura por fricción

Se aplica en la industria naval, aeronáutica y petrolera. Ejemplos de aplicaciones encontramos en la industria de las turbinas de gas porque este tipo de soldadura está volcada en una continua mejora para obtener mayores estándares de eficiencia y seguridad por lo que la soldadura por fricción es el método indicado.

Una tubería de perforación típica tiene de 3 a 4 millas de largo, en secciones de 30 pies. Las soldaduras por fricción aguantan el ensamble inferior de la columna de perforación y transmiten la torsión rotativa necesaria para la perforación.



Figura 3. Aplicaciones de la soldadura por fricción en el área eléctrica
Fuente: [13, p. 38]

1.7. Aplicaciones en el área automotriz

Una gran variedad de componentes para camiones y vehículos pesados se sueldan por fricción. Entre estos se encuentran los ejes de dirección, los engranajes de transmisión, las válvulas de cilindros, entre otros.



Figura 4. Aplicaciones de la soldadura por fricción en el área automotriz
Fuente: [13, p. 42]

1.8. Ventajas y desventajas de la soldadura por fricción

a) Ventajas

- No requiere de metal de aporte, fundente ni gas protector.
- El proceso es limpio desde el punto de vista ambiental, no se producen arcos, chispas, humo ni vapores generados cuando las piezas están limpias.
- La soldadura por fricción es apropiada para soldar una gran parte de los materiales de ingeniería y además para la unión de muchas combinaciones de materiales disímiles.
- En la mayor parte de los casos, la resistencia mecánica de la soldadura es equivalente o superior a la del más débil de los dos materiales que se unen.
- No es necesario que el operador tenga habilidades o capacitación en el área de soldadura manual.
- El proceso es fácil de automatizar para grandes volúmenes de producción.
- Las soldaduras se producen con rapidez en comparación con otros procesos de soldadura.
- Proceso recomendado para altos volúmenes de producción.
- Reducción de costos en producción en serie. [13]

b) Desventajas

- En general, una de las piezas de trabajo debe tener un eje de simetría y poder girar alrededor de ese eje.
 - La preparación y alineación de las piezas de trabajo puede ser crucial para que el frotamiento y calentamiento sean uniformes.
 - Los costos de capital por equipo y herramental son elevados.
 - No es posible soldar materiales auto-lubricados, o que no sean forjables.
- [13]

1.9. Materiales para probetas soldadas por fricción

En este trabajo, la caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión se realizó con cuatro materiales descritos a continuación:

1.9.1. Acero AISI 1018

El acero AISI 1018 es un producto muy útil debido a sus características de buena resistencia mecánica y buena ductilidad. En términos generales, el acero posee excelente soldabilidad y mejor maquinabilidad que la mayoría de los aceros al carbón.

Se aplica el acero no aleado de cementación para uso en partes de maquinaria, aceros, generalmente, estirados en frío, piñones, tornillos sin fin, pernos de dirección, pernos de cadena, catarinas, etc. En la Tabla 2 se encuentran las propiedades mecánicas y composición química del acero AISI 1018.

Tabla 2. Propiedades mecánicas y composición química del acero AISI 1018 [14]

Acero AISI 1018, (sección circular 16-22 mm)	
Propiedades mecánicas	
Dureza Brinell	131
Módulo de elasticidad	200 GPa
Módulo de elasticidad de corte G	78 GPa
Esfuerzo de fluencia σ_y	310 MPa
Esfuerzo máximo σ_{max}	450 MPa
Composición química	
C	0.15 – 0.20
Mn	0.60 – 0.90
P máx	0.04
S máx	0.05

1.9.2. Acero AISI 1045

El acero de medio carbono, posee baja soldabilidad y buena maquinabilidad, responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Por su dureza y tenacidad es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria.

Se aplica el acero no aleado en flechas y partes de maquinaria, adecuado para temple superficial, flechas, piñones, engranes, pernos, tornillos, semiejes, ejes, cigüeñas, etc. En la Tabla 3 se encuentran las propiedades mecánicas y composición del acero AISI 1045.

Tabla 3. Propiedades mecánicas y composición química del acero AISI 1045 [15]

Acero AISI 1045, laminado en caliente (sección circular 19-32 mm)	
Propiedades mecánicas	
Dureza Brinell	163
Módulo de elasticidad	206 GPa
Módulo de elasticidad de corte G	80 GPa
Esfuerzo de fluencia σ_y	310 MPa
Esfuerzo máximo $\sigma_{m\acute{a}x}$	565 MPa
Composición química (%)	
C	0.42 – 0.50
Mn	0.60 – 0.90
P máx	0.04
S máx	0.05

1.9.3. Aluminio

El aluminio es un material no ferroso de mayor consumo en el mundo, lo que prueba el significado que tiene para la industria moderna. Su uso se debe a sus múltiples características, siendo las más importantes las siguientes:

- Es el material más abundante sobre la corteza terrestre, su peso específico es de 2.7 g/cm^3 , es decir, tres veces más liviano que el acero, el cobre o el zinc, y cuatro veces más liviano que el plomo.
- Su alta conductividad eléctrica lo hace rival número uno del cobre, y siendo el aluminio tres veces más liviano, lo que hace doblemente más económico.
- No se corroe, es reflectivo y buen conductor térmico, no es magnético, ni tóxico al organismo humano, se puede fundir, inyectar, maquinar, laminar, forjar, extruir, y soldar, además de ser 100% reciclable. El aluminio se usa en muchas industrias, tales como las de transporte, refrigeración, eléctrica, envases, electrónica, utensilios de cocina y encuentra su mayor aplicación en la industria de la construcción.
- En la actividad edificadora el aluminio es el metal más usado en formas de perfiles, tanto por su alta resistencia mecánica como por los diferentes acabados que se le puede dar a sus superficies.

En la Tabla 4 se encuentran las propiedades mecánicas y composición química del aluminio 6063.

Tabla 4. Propiedades mecánicas y composición química del aluminio [16]

Aluminio 6063– T1	
Propiedades mecánicas	
Dureza Brinell	42
Módulo de elasticidad E	68.9 GPa
Módulo de elasticidad de corte G	25.8 GPa
Esfuerzo de fluencia σ_y	89.6 MPa
Esfuerzo máximo $\sigma_{m\acute{a}x}$	152 MPa
Composición química (%)	
Al	≤ 97.5
Si	0.20-0.60
Fe	≤ 0.35
Cu	≤ 0.10
Mn	≤ 0.10
Zn	≤ 0.10

1.9.4. Bronce SAE 40

Es una aleación de base Cu-Sn, sus principales elementos aleantes son: cobre, estaño, plomo y zinc. Es el de menor grado de dureza de la familia de los bronce fosfóricos, por sus excelentes cualidades mecánicas es un bronce de buena resistencia al desgaste, la fatiga, el impacto y la corrosión atmosférica e hidráulica, buena maquinabilidad, buena conductividad eléctrica y buena calidad antifriccional especialmente indicado para accesorios hidráulicos y de vapor tales como válvulas y sus accesorios, impulsores para bomba, tuberías, conexiones para agua, flechas, bujes, etc. [17]

En la Tabla 5 se encuentran las propiedades mecánicas y composición química del bronce SAE 40.

Tabla 5. Propiedades mecánicas y composición química del Bronce SAE 40 [18]

Bronce SAE 40	
Propiedades mecánicas	
Dureza Brinell	60
Módulo de elasticidad E	83 GPa @ 20 °C
Esfuerzo de fluencia σ_y	117 MPa
Esfuerzo máximo $\sigma_{m\acute{a}x}$	255 MPa
Composición química (%)	
Cu	84-86
Sn	4-6
Zn	4-6
Pb	4-6

1.10. Características de la soldadura por fricción de los aceros al carbono

- En general, la mayoría de los aceros que pueden ser forjados en caliente, también pueden ser soldados por fricción con facilidad, los aceros de baja y media aleación son los más fáciles de soldar por fricción.
- Los aceros térmicamente tratables también pueden soldarse por fricción. El rápido enfriamiento de la zona de soldadura puede causar problemas de templabilidad por lo que a continuación se puede requerir un procedimiento de templado o recocido.
- Los aceros que contienen cantidades significativas de elementos de mecanizado libre, como el plomo, también pueden soldarse por fricción; sin embargo, el plomo puede causar propiedades direccionales indeseables cerca de la línea de enlace ya que el plomo actúa como lubricante seco y disminuye la fricción. [9]

1.11. Características de la soldadura por fricción de las aleaciones de aluminio

- Las aleaciones de aluminio son comúnmente unidas por la soldadura por fricción.
- Las velocidades superficiales utilizadas para soldar aleaciones de aluminio son aproximadamente del 30 al 50% mayor que los utilizados para el acero al carbono.

- Para la soldadura por fricción por impulsión directa, las velocidades superficiales son 10 a 50% más altas que para el acero al carbono, dependiendo del tipo de aleación de aluminio.
- Las presiones de soldadura y recalcado son típicamente del 30 al 50% de las utilizadas para el acero al carbono. [9]

CAPÍTULO II

FABRICACIÓN Y SOLDADURA DE PROBETAS

2.1. Fabricación de probetas

Las probetas se fabricaron en la máquina Emcomat E-200 MC en base a la norma NTE INEN 109:2009 y acoplándose a los requerimientos del equipo de soldadura por fricción y máquina de ensayos de tracción y torsión.

Para realizar el proceso de soldadura por fricción primero se estableció las dimensiones de las piezas de la figura 5(a), se soldó y se realizó un mecanizado para retirar rebabas. Finalmente, se obtuvo la probeta según norma [4] para el ensayo de tracción como se indica en la figura 5(b). El valor de la medida X de esta figura varía de acuerdo al encogimiento axial de cada material después de la soldadura.

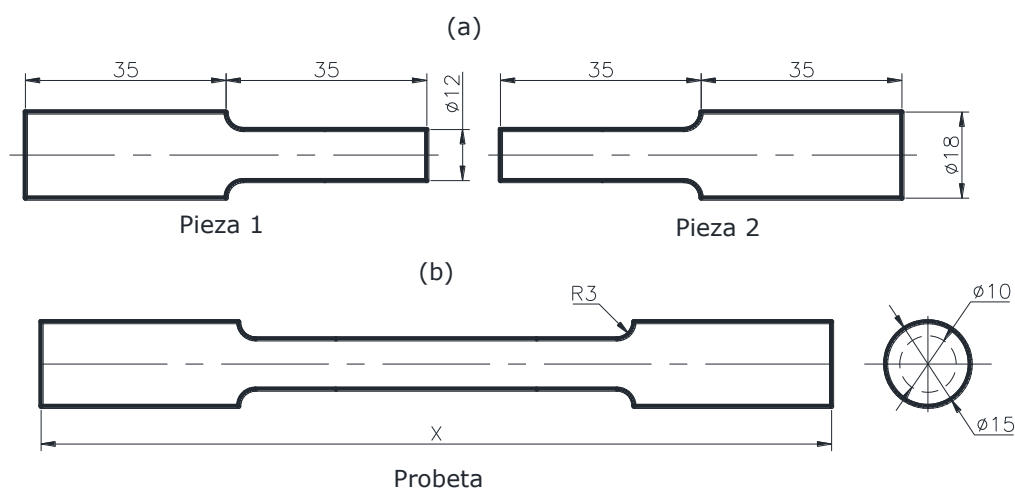


Figura 5. Dimensiones de Piezas y Probeta a) Dimensiones de las piezas para la soldadura. b) Probeta para el ensayo de tracción
Elaborado por: Diana Castro

2.2. Cantidad de probetas para ensayos de tracción y torsión

En la Tabla 6 a continuación se muestra la cantidad de probetas por cada material y para cada ensayo.

Tabla 6. Cantidad de probetas para cada ensayo centrado

Material		Cantidad ensayos de tracción	Cantidad ensayos de torsión
Acero	AISI	4	4
1018			
Acero	AISI	4	4
1045			
Aluminio		4	4
Bronce SAE 40		4	4
Total		16	16

Elaborado por: Diana Castro

2.3. Parámetros de soldadura.

Las probetas fueron soldadas por fricción bajo los parámetros de soldadura definidos en el diseño del equipo de soldadura por fricción de torque continuo.

Los parámetros de este equipo se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de soldadura [11]

Material	Diámetro (mm)	Velocidad (RPM)	Tiempo (s)	Presión de Calentamiento (kg/cm²)
Acero AISI 1018	12	2400	16	100
Acero AISI 1045	12	2400	16	100
Aluminio	12	2400	12	110
Cobre electrolítico	12	2400	20	150

2.3. Soldadura de las probetas de acero AISI 1018

En la Figura 6 se indica el momento en el que el material alcanza la zona plástica debido a la fricción de las superficies donde se transforma la energía mecánica en energía térmica, y se aplica la presión de precalentamiento y forja para lograr la coalescencia de los materiales y obtener la soldadura por fricción del acero AISI 1018.

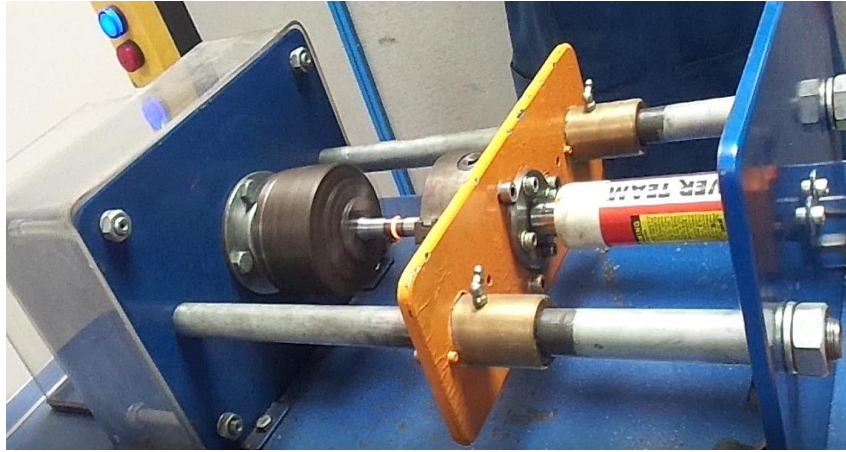


Figura 6. Soldadura por fricción del acero AISI 1018
Elaborado por: Diana Castro

En la Figura 7 se muestra las probetas después de la soldadura.



Figura 7. Probetas soldadas por fricción de acero AISI 1018
Elaborado por: Diana Castro

2.4. Soldadura de las probetas de acero AISI 1045

En la Figura 8 se indica el momento en la cual se da la soldadura del acero AISI 1045.

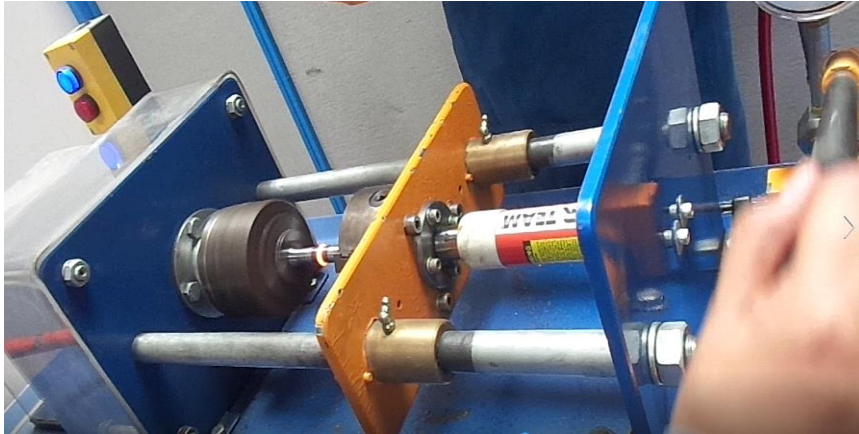


Figura 8. Soldadura por fricción del acero AISI 1045
Elaborado por: Diana Castro

En la Figura 9 se muestra las probetas después de la soldadura



Figura 9. Probetas soldadas por fricción de acero AISI 1045
Elaborado por: Diana Castro

2.5. Soldadura de las probetas de aluminio

En la Figura 10 se observa el proceso de soldadura del aluminio donde se aplica presión para lograr la soldadura por fricción.

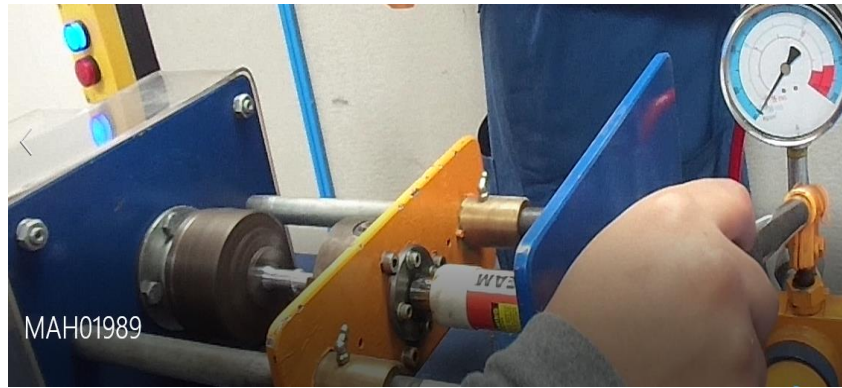


Figura 10. Soldadura por fricción del aluminio
Elaborado por: Diana Castro

En la Figura 11 a continuación se muestran las probetas soldadas por fricción



Figura 11. Probetas soldadas por fricción de aluminio
Elaborado por: Diana Castro

2.6.Soldadura de las probetas de bronce SAE 40

En la Figura 12 se observa la fricción de las superficies de las probetas de bronce SAE 40, la cual no genera fricción en las superficies en contacto para generar la soldadura.

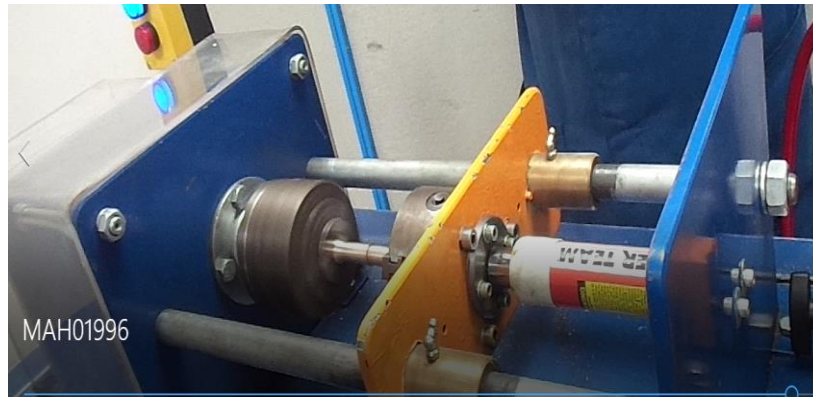


Figura 12. Soldadura por fricción del bronce SAE 40
Elaborado por: Diana Castro

Debido a la característica antifricción de este material se realizó un análisis por espectrometría de chispa y se obtiene los resultados de la Tabla 8.

Tabla 8. Resultado de análisis por Espectrometría de Chispa del bronce SAE 40

Materiales	Probeta de Soldadura de bronce SAE 40 (%)
Zinc (Zn)	3,780
Plomo (Pb)	5,877
Estaño (Sn)	5,341
Fosforo (P)	0,075
Hierro (Fe)	0,155
Níquel (Ni)	0,269
Azufre (S)	0,037
Plata (Pb)	0,034
Bismuto (Bi)	0,088
Antimonio (Sb)	0,127
Selenio (Se)	0,029
Teluro (Te)	0,077
Cobre (Cu)	84,05

Fuente: Resultados del Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Escuela Politécnica Nacional

De la Tabla 8 se obtiene que el porcentaje de elementos de aleación del plomo es 5,877% y del estaño es 5,341%.

“Las aleaciones de metales antifricción son de dos tipos: aleaciones a base de estaño y aleaciones base plomo y que además contienen, antimonio, cobre, plomo y estaño

en menor proporción al metal base, de conformidad con su metal básico, reducen la resistencia mecánica a la fricción”. [17]

Una de las principales condiciones para la soldadura por fricción es que las superficies en contacto generen calor por fricción, y los elementos de aleación del bronce SAE 40, tienen características antifriccionales. Por ese motivo la soldadura por fricción en el material de bronce SAE 40 no se pudo realizar.

Después de la soldadura, todas las probetas (excepto bronce SAE 40), se realizó un maquinado para retirar rebabas y ajustar a la norma el cual establece 10 mm de diámetro. Una vez maquinadas las probetas serán sometidas a ensayos de tracción y torsión.

En la Figura 13 se observa las probetas después del maquinado.



Figura 13. Maquinado de probetas soldadas
Elaborado por: Diana Castro

2.7. Encogimiento axial de las probetas después de la soldadura por fricción

Debido a la presión de precalentamiento y forja, existe una disminución en la longitud de las probetas. Las que tienen menor encogimiento axial son las probetas de acero AISI 1045 como se observa en la Tabla 10 y las de mayor encogimiento axial son las de aluminio 6063 que se observa en la Tabla 11, el acero AISI 1018 también tiene encogimiento axial como se observa en la Tabla 9.

Tal como se puede observar en las Tablas 9, 10, 11 en las cuatro primeras probetas de cada material se realizó el ensayo de tracción.

Se evidencia diferentes medidas del encogimiento axial de las probetas analizadas, condición que puede ser a causa de las características de la máquina, que no garantizan el control de los parámetros más importantes en la soldadura por fricción, que son: temperatura, presión y tiempo.

Tabla 9. Encogimiento axial de las probetas de acero AISI 1018

Acero AISI 1018			
Probetas N°	Longitud inicial (mm)	Longitud final (mm)	Encogimiento axial (mm)
1	140	139,73	0,27
2	140	139,62	0,38
3	140	138,89	1,11
4	140	139,91	0,09
5	140	139,26	0,74
6	140	138,65	1,35
7	140	139,38	0,62
8	140	138,76	1,24

Elaborado por: Diana Castro

Tabla 10. Encogimiento axial de las probetas de acero AISI 1045

Acero AISI 1045			
Probeta N°	Longitud inicial	Longitud final	Encogimiento axial
		(mm)	(mm)
1	140	139,10	0,90
2	140	139,95	0,05
3	140	139,41	0,59
4	140	139,45	0,55
5	140	139,78	0,22
6	140	139,37	0,63
7	140	139,38	0,62
8	140	139,96	0,04

Elaborado por: Diana Castro

Tabla 11. Encogimiento axial de las probetas de aluminio

Aluminio			
Probeta N°	Longitud inicial	Longitud final	Encogimiento axial
	(mm)	(mm)	(mm)
1	140	132,27	7,73
2	140	138,41	1,59
3	140	133,28	6,72
4	140	136,72	3,28
5	140	133,58	6,42
6	140	138,92	1,08
7	140	136,78	3,22
8	140	132,26	7,74

Elaborado por: Diana Castro

CAPÍTULO III

ENSAYOS DE TRACCIÓN, TORSIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Los ensayos destructivos son la aplicación de métodos físicos que alteran de forma permanente las propiedades físicas, mecánicas o dimensionales del material, y su ejecución involucra la destrucción de la probeta empleada.

3.1. Ensayo de tracción.

El ensayo comprende el estiramiento de una probeta por una fuerza axial de tracción proporcional a sus dimensiones, mediante una máquina para ensayo de tracción a fin de determinar durante su deformación una o más características mecánicas.

Para ello se coloca la probeta, sujeta por ambos extremos por mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil.

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, la máquina dibuja en un eje el desplazamiento y en el otro eje la carga leída.

Para realizar el ensayo de tracción se coloca la probeta como se indica en la Figura 14.

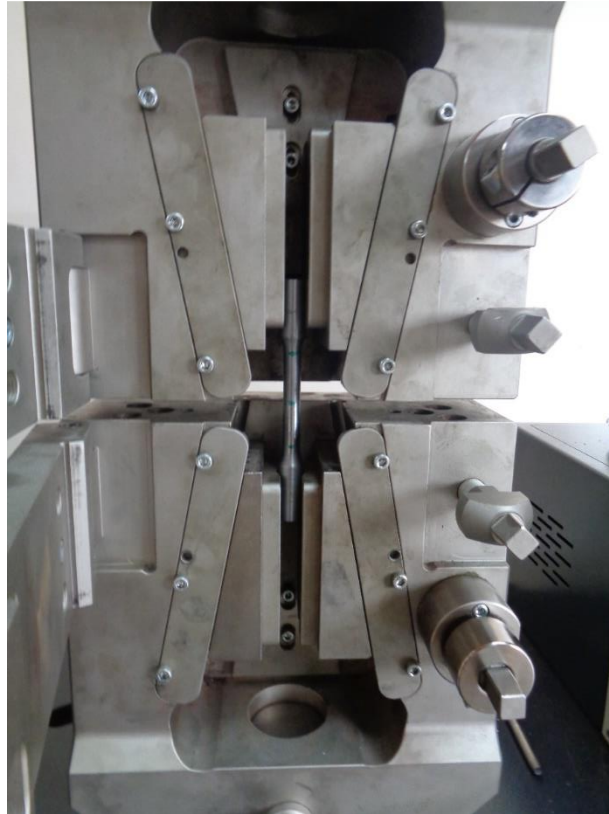


Figura 14. Probeta en la máquina de ensayos
Elaborado por: Diana Castro

Para que los resultados de la prueba sean comparables, se deben normalizar las dimensiones de las probetas y los métodos de aplicación de la carga, de acuerdo con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 109:2009: “Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente”.

Después de realizar el ensayo, la máquina genera principalmente el diagrama carga-desplazamiento. Este diagrama contiene datos importantes acerca de las propiedades y el comportamiento de los materiales aplicados en ingeniería, para este caso en particular en la soldadura por fricción de torque continuo.

En la Figura 15 se observa el diagrama esfuerzo deformación con las propiedades del material que se puede obtener al realizar el ensayo de torsión.

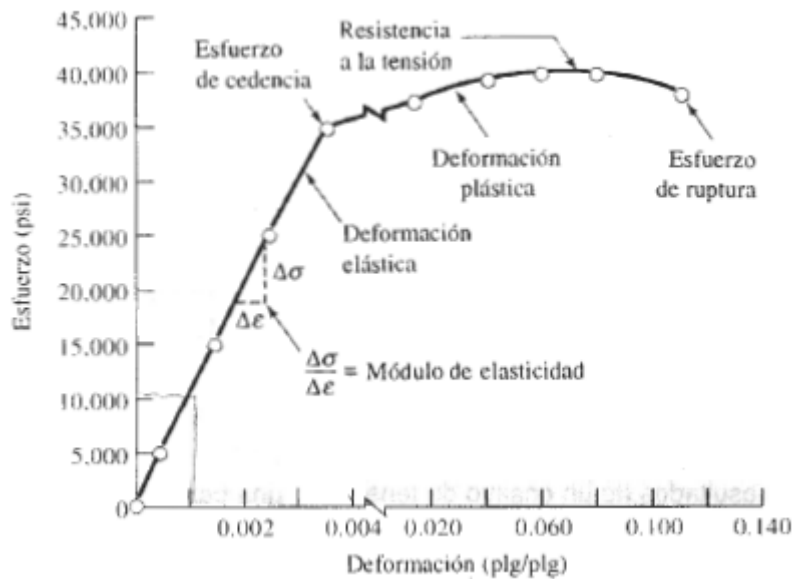


Figura 15. Diagrama esfuerzo-deformación, Fuente: [1]

3.1.1. Esfuerzo de fluencia

Es el esfuerzo al cual la deformación plástica se hace importante. En los metales, es por lo general el esfuerzo requerido para que las dislocaciones se deslicen. El esfuerzo de fluencia es, por lo tanto, el esfuerzo que divide los comportamientos elástico y plástico del material. Si se desea diseñar un componente que no se deforme plásticamente, se debe seleccionar un material con un límite elástico elevado, fabricar el componente de tamaño suficiente para que la fuerza aplicada produzca un esfuerzo que quede por debajo del esfuerzo de fluencia.

Las curvas tienen una primera parte lineal llamada zona elástica, en donde la probeta se comporta como un resorte: si se quita la carga en esa zona, la probeta regresa a su longitud inicial. En la zona elástica las deformaciones son proporcionales a las cargas. [1]

3.1.2. Resistencia a la tracción

El esfuerzo obtenido de la fuerza más alta aplicada es la resistencia a la tracción, que es el esfuerzo máximo sobre la curva carga – desplazamiento. En muchos materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme. En cierto momento una región se deforma más que otras y ocurre una reducción local de importancia

en la sección recta también se le conoce como límite elástico. Dado que el área de la sección transversal en este punto se hace más pequeña, se requiere una fuerza menor para continuar su deformación, y se reduce el esfuerzo al calculado a partir del área original. La resistencia a la tracción es el esfuerzo al cual inicia este encuellamiento en materiales dúctiles. [1]

3.1.3. Módulo de elasticidad

Relación entre las cargas y deformaciones en el período elástico de proporcionalidad. Es constante en cada material y permite conocer los alargamientos elásticos que experimenta en función de las cargas.

Cuando la curva se desvía de la recta inicial, el material alcanza el punto de fluencia, desde aquí el material comienza a adquirir una deformación permanente. A partir de este punto, si se quita la carga la probeta quedaría más larga que al principio. Comienza la zona plástica del ensayo de tracción.

La probeta se alarga en forma permanente y repartida, a lo largo de toda su longitud. En $F = F_{m\acute{a}x}$ la probeta muestra su punto débil, concentrando la deformación en una zona en la cual se forma un cuello.

La deformación se concentra en la zona del cuello, provocando que la carga deje de subir. Al adelgazarse la probeta la carga queda aplicada en menor área, provocando la ruptura.

“Este módulo está íntimamente relacionado con la energía de enlace de los átomos. Una pendiente muy acentuada o muy abrupta en la gráfica carga desplazamiento en la zona de equilibrio indican que se requieren de grandes fuerzas para separar los átomos y hacer que el material se deforme elásticamente. Por lo tanto, el material tiene un módulo de elasticidad alto” [1].

En este ensayo de tracción se obtuvo gráficas carga-desplazamiento y no se pudo obtener las gráficas esfuerzo-deformación por las características limitantes de la máquina de soldadura por lo que la longitud máxima de las probetas que se realizó fue de 140 mm y con esa medida no fue posible ubicar el extensómetro.

Se obtuvieron datos del esfuerzo de fluencia, que es el esfuerzo necesario para pasar de la zona plástica a la zona elástica del material, el esfuerzo máximo que es el esfuerzo más alto que soporta el material que son los datos que se toman en cuenta para el análisis.

3.1.4. Gráficas y análisis de datos del ensayo de tracción para el acero AISI 1018

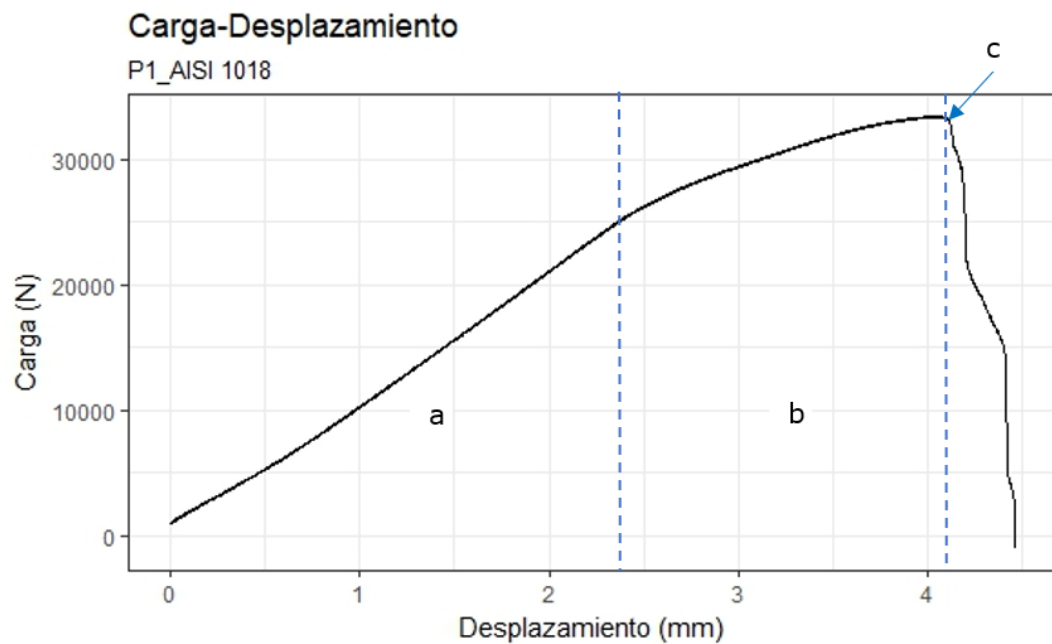


Figura 16. Carga-desplazamiento de P1 de acero AISI 1018, se identifican las siguientes zonas: a) zona elástica b) zona plástica c) fractura

Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

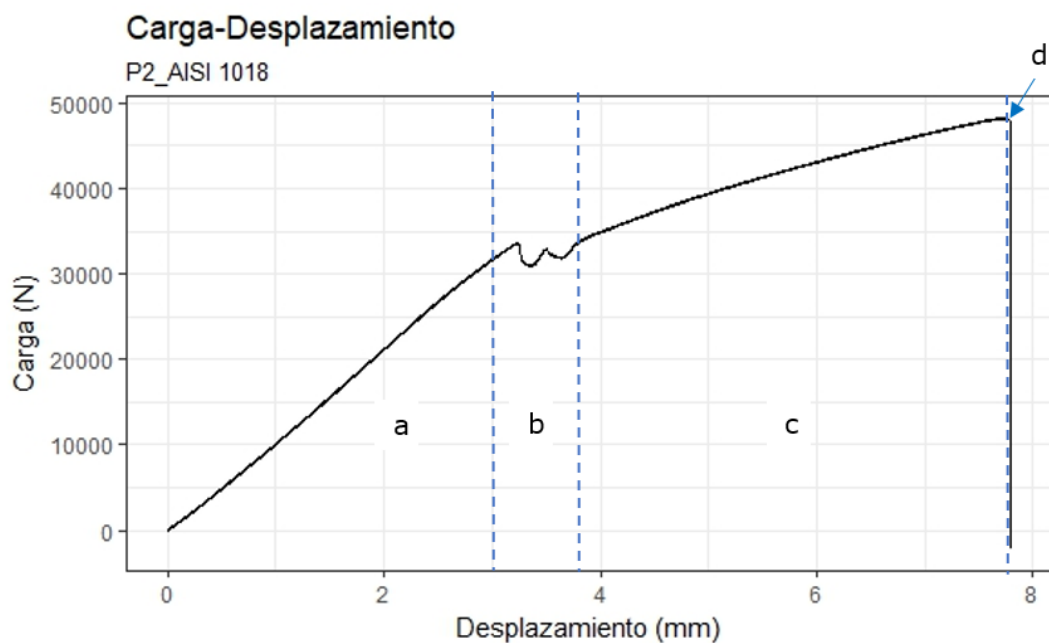


Figura 17. Carga-desplazamiento de P2 de acero AISI 1018, se identifican las siguientes zonas: a) zona elástica b) zona elástico plástica c) zona plástica d) fractura

Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

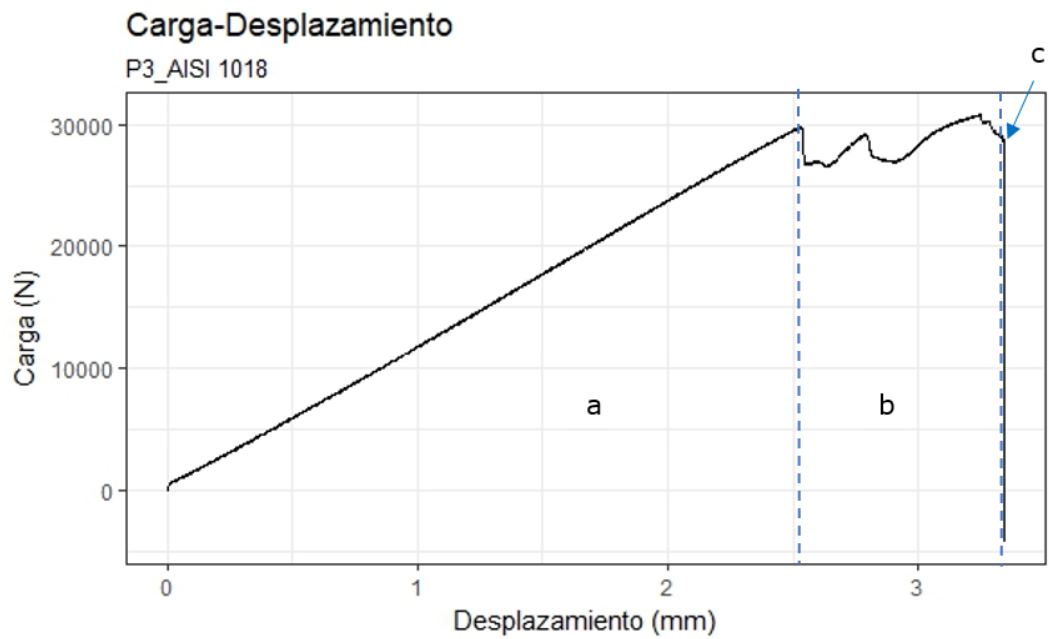


Figura 18. Carga-desplazamiento de P3 de acero AISI 1018, se identifican las siguientes zonas:
a) zona elástica b) zona elástico plástica c) fractura

Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

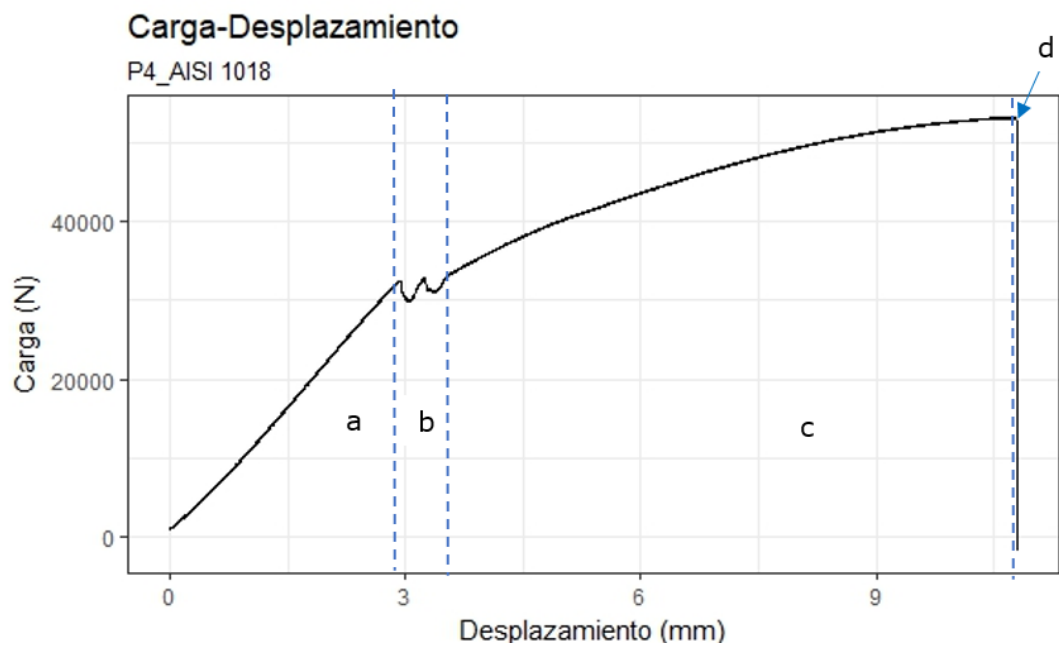


Figura 19. Carga-desplazamiento de P4 de acero AISI 1018, se identifican las siguientes zonas: a) zona elástica b) zona elástico plástica c) zona plástica d) fractura

Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

Tabla 12. Resultados del ensayo de tracción del acero AISI 1018

Probeta	Carga en la máxima deformación (N)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo elástico (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)
P1	2383,536	32791,680	417,516	11802,873	355,572
P2	15353,688	47317,320	602,462	12013,757	416,629
P3	28166,482	30237,891	385,000	12893,359	348,445
P4	51568,477	52133,402	663,783	12482,502	391,306

Elaborado por: Diana Castro

Tabla 13. Encogimiento de las probetas de acero AISI 1018

Probeta	Encogimiento axial (mm)	Longitud inicial ensayo de tracción (mm)	Longitud final ensayo de tracción (mm)
P1	0,27	139,73	140
P2	0,68	139,62	141
P3	0,09	138,89	139
P4	1,11	139,91	142

Elaborado por: Diana Castro

De la Tabla 13, las probetas P1 y P3 tienen menor encogimiento axial, la posible causa a la que puede atribuirse, es que los parámetros de soldadura como presión y tiempo que no son controlados en la máquina. Por lo tanto, los valores de encogimiento axial varían de una probeta a otra, lo que causa diferencias en las propiedades mecánicas de las probetas soldadas por fricción.

En las probetas que tienen menor encogimiento axial, la soldadura podría ser ineficiente o tener una inadecuada presión de forja. Tomando en cuenta que una presión de forja prematura es decir que no tienen la temperatura y tiempo adecuado ocasionan la unión de materiales en frío lo que ocasiona soldaduras con porosidades.

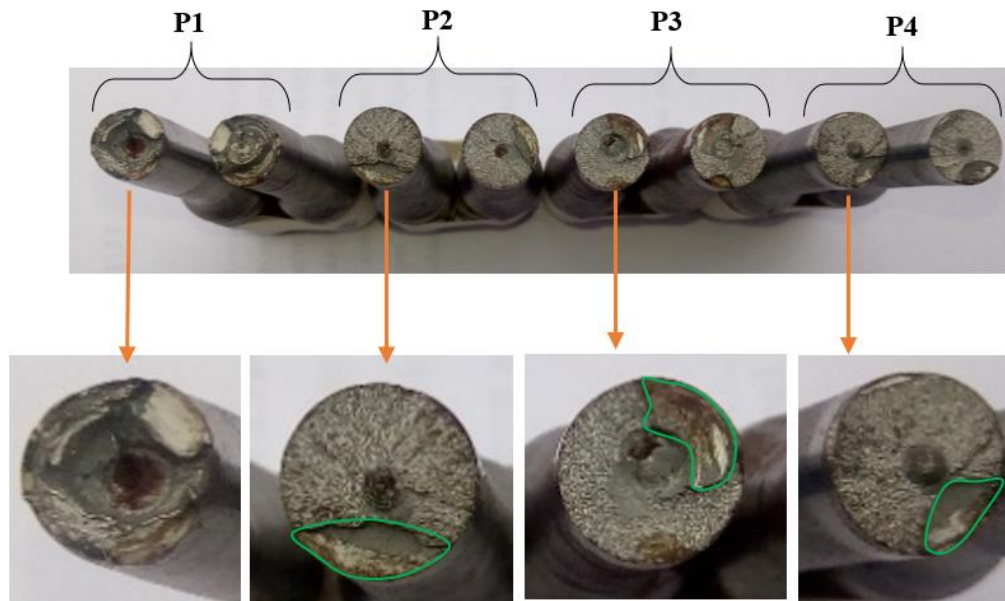


Figura 20. Fractura del ensayo de tracción del acero AISI 1018
Elaborado por: Diana Castro

En la probeta P1 se observa un desprendimiento en la zona de soldadura.

En la probeta P2, P3, P4 se observa una zona limitada de color verde en la que falla en la soldadura, la zona más amplia se observa las marcas de río que son características de una fractura frágil por lo tanto se verifica la coalescencia del material soldado.

De la Tabla 2 el acero AISI 1018 presenta los siguientes datos:

- Esfuerzo máximo: 450 MPa
- Esfuerzo de fluencia: 310 MPa

En función de los resultados obtenidos mediante el ensayo se tiene los siguientes valores:

- Esfuerzo máximo: 560 MPa
- Esfuerzo de fluencia: 387 MPa

El esfuerzo máximo y esfuerzo de fluencia es mayor comparado con los valores teóricos del material, debido a que este proceso de soldadura se lo podría comparar con el proceso de forja, el mismo que ocasiona el endurecimiento del material.

Para este análisis se descartó la probeta 1 debido a la interpretación de la Figura 20 y al encogimiento axial.

3.1.5. Gráficas y análisis de datos del ensayo de tracción para el acero AISI 1045.

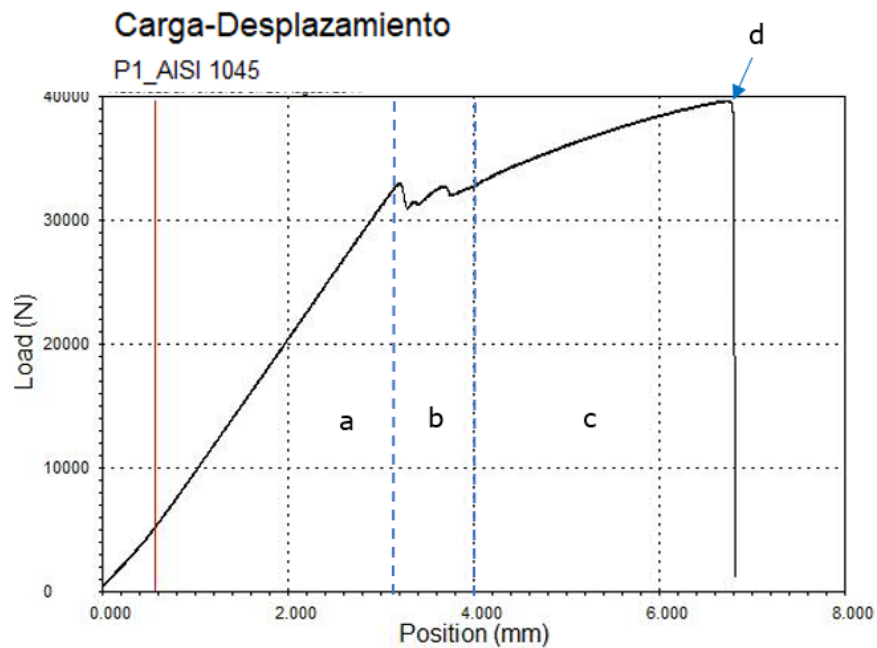


Figura 21. Carga-desplazamiento de P1 de acero AISI 1045, se identifican las siguientes zonas:
a) zona elástica b) zona elástico plástica c) zona plástica d) fractura
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

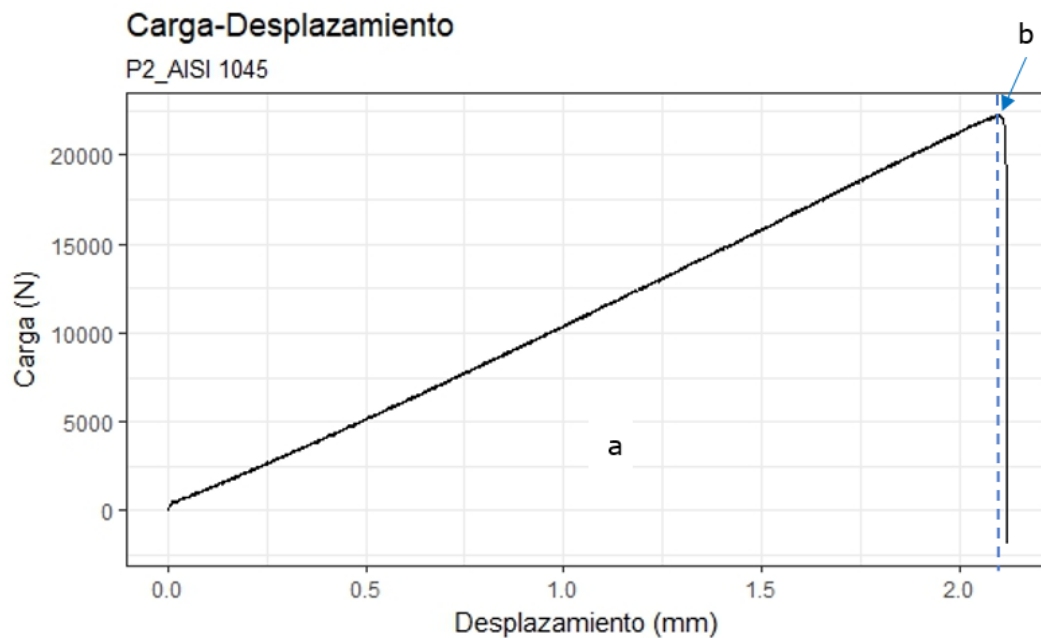


Figura 22. Carga-desplazamiento de P2 de acero AISI 1045, se identifican las siguientes zonas: a) zona elástica b) fractura
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

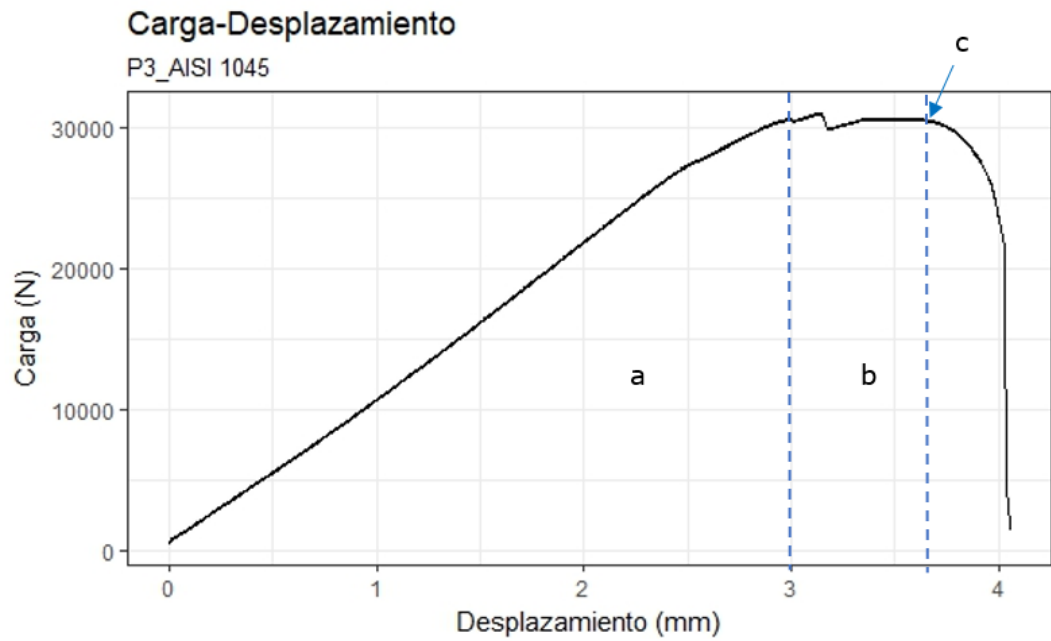


Figura 23. Carga-desplazamiento de P3 de acero AISI 1045, se identifican las siguientes zonas:
a) zona elástica b) zona elástico plástica c) fractura
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

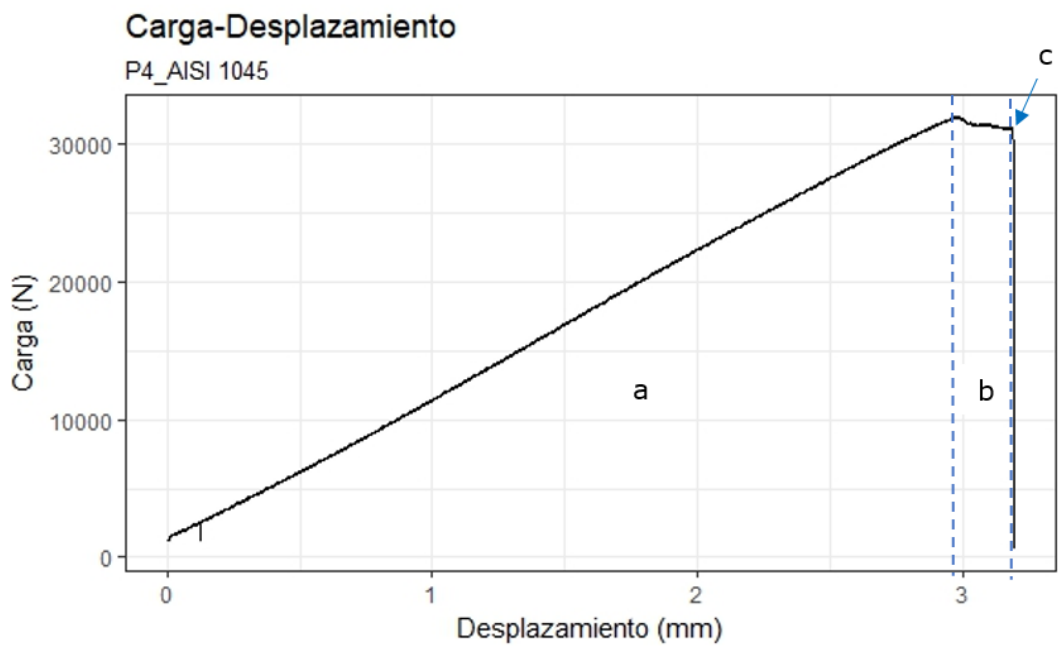


Figura 24. Carga-desplazamiento de P4 de acero AISI 1045, se identifican las siguientes zonas:
a) zona elástica b) zona elástico plástica c) fractura
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

Tabla 14. Resultados del ensayo de tracción del acero AISI 1045

N° Probeta	Carga en la máxima deformación (N)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)
1	35229,387	39617,262	504,422	11775,327	407,860
2	17244,523	21838,764	278,059	11769,250	219,564
3	2004,337	30457,154	387,792	12217,358	374,490
4	29244,750	31365,168	399,353	11773,453	395,872

Elaborado por: Diana Castro

Tabla 15. Encogimiento de las probetas de acero AISI 1045

Probetas N°	Encogimiento axial (mm)	Longitud inicial ensayo de tracción (mm)	Longitud final ensayo de tracción (mm)
1	1,56	138,44	141
2	0,05	139,95	140
3	0,59	139,41	140
4	0,55	139,45	141

Elaborado por: Diana Castro

La probeta 2 tiene el menor encogimiento axial y es la que obtuvo menor esfuerzo máximo.

Las probetas 1, 3, 4 tienen similares valores de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo por lo que se considera estos datos para el análisis del ensayo de tracción en el acero AISI 1045.

Esta diferencia también se debe a las características de la máquina de soldadura que no permite controlar los parámetros de soldadura.

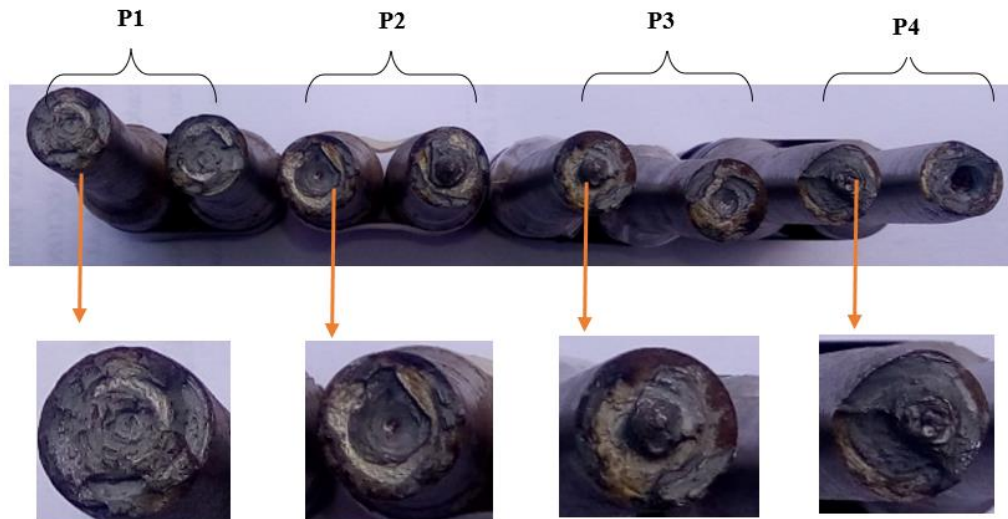


Figura 25. Fractura del ensayo de tracción del acero AISI 1045
Elaborado por: Diana Castro

En la Figura 25 se observa que el acero AISI 1045 presentó fractura dúctil en todas las probetas que se sometieron al ensayo, un posible factor que influyó es la falta de control en los parámetros de soldadura que provocaron una soldadura inadecuada.

De la Tabla 3 el acero AISI 1045 presenta los siguientes datos:

- Esfuerzo máximo: 565 MPa
- Esfuerzo de fluencia: 310 MPa

En función de los resultados obtenidos mediante el ensayo se tiene los siguientes valores:

- Esfuerzo máximo: 430 MPa
- Esfuerzo de fluencia: 392 MPa

El esfuerzo máximo obtenido mediante soldadura por fricción y ensayado a tracción es menor en comparación con el dato del acero AISI 1045 consultado en la Tabla 3, esto se puede atribuir a que no se soldó y falló en la soldadura, por todo lo dicho no se recomienda este tipo de soldadura para este material (acero AISI 1045).

3.1.6. Gráficas y análisis de datos del ensayo de tracción para el aluminio.

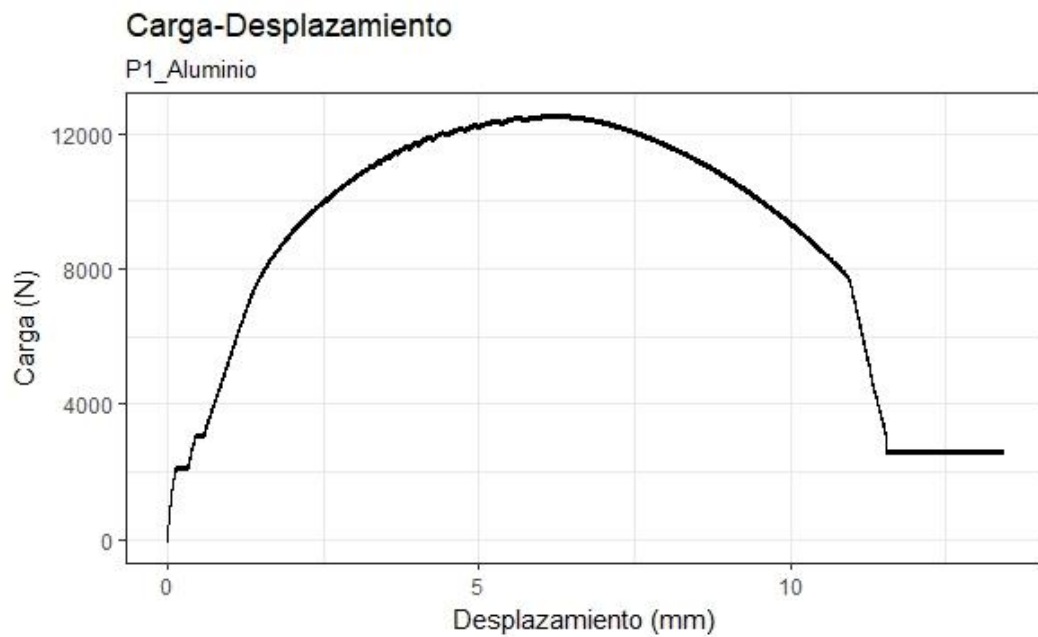


Figura 26. Carga-desplazamiento de P1 del aluminio
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

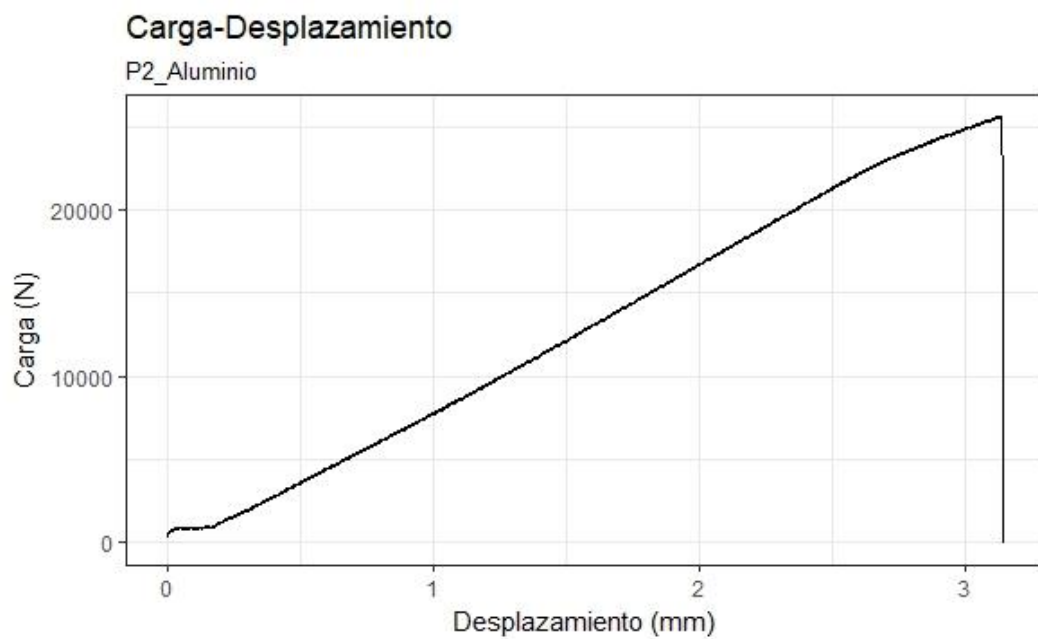


Figura 27. Carga-desplazamiento de P2 del aluminio
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)



Figura 28. Carga-desplazamiento de P3 del aluminio
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)



Figura 29. Carga-desplazamiento de P4 del aluminio
Fuente: Resultado de ensayo de tracción (Anexo 3)

Tabla 16. Resultados del ensayo de tracción del aluminio

N° Probeta	Carga en la máxima deformación (N)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)
1	2566,687	12312,357	156,765	9503,877	25,881
2	20708,904	25096,779	319,542	9808,886	317,234
3	7722,284	10259,009	130,621	5861,609	71,896
4	1488,420	12590,952	160,312	788,546	1,01817

Elaborado por: Diana Castro

Tabla 17. Encogimiento de las probetas de aluminio

Probetas N°	Encogimiento axial (mm)	Longitud inicial ensayo de tracción (mm)	Longitud final ensayo de tracción (mm)
1	7,73	132,27	141
2	1,59	138,41	139
3	6,72	133,28	142
4	3,28	136,72	139

Elaborado por: Diana Castro

La probeta 2 es la que presenta un menor encogimiento axial. Las probetas 1, 3, 4 son las probetas que se tomaron en cuenta para el análisis de datos.

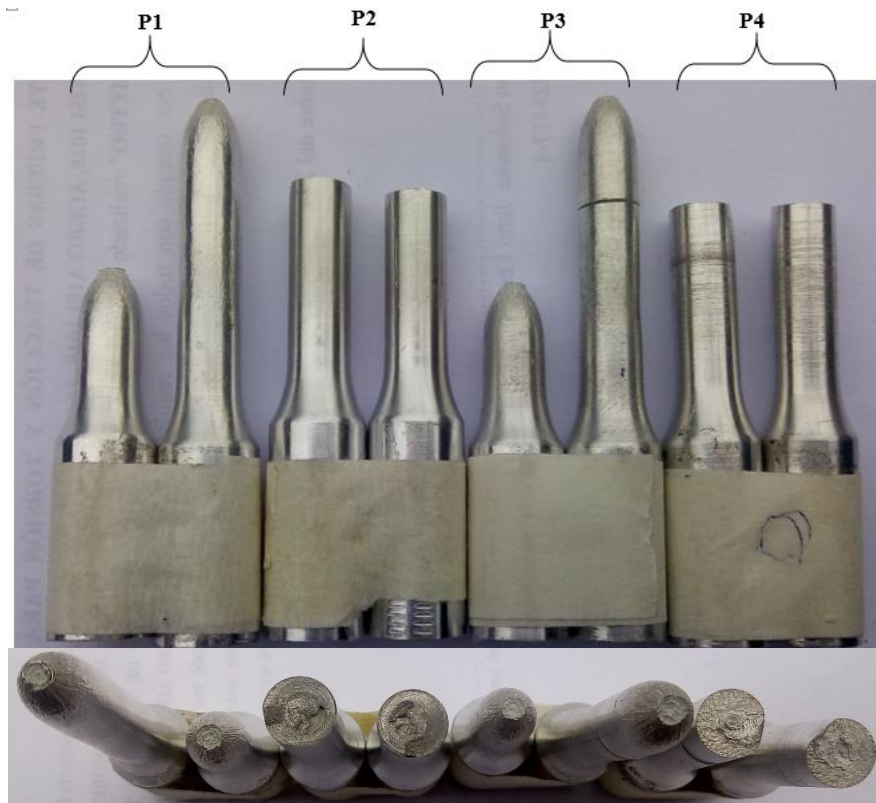


Figura 30. Fractura del ensayo de tracción del aluminio
Elaborado por: Diana Castro

En la probeta P1, P3 se observa una falla copa-cono característica de un material dúctil.

En la probeta P2, P4 se observa una falla de tipo frágil a pesar de que se trata de una material dúctil. Esto se debe a los parámetros de soldadura que no es posible controlar y varían de una probeta a otra a pesar de que es el mismo material y bajo las mismas condiciones.

De la Tabla 4 para el aluminio 6063 presenta los siguientes datos:

- Esfuerzo máximo: 152 MPa
- Esfuerzo de fluencia: 89,6 MPa

Tomando las probetas 1 y 3 para el análisis ya que son las probetas que tienen un mayor encogimiento axial, gráficas carga-desplazamiento características del

aluminio y por la interpretación de la Figura 30, se obtiene el siguiente valor del esfuerzo máximo:

- Esfuerzo máximo: 148 MPa

Comparando el esfuerzo máximo obtenido en las probetas de aluminio soldadas por fricción se observa una diferencia muy pequeña en comparación con el esfuerzo del material consultado en tablas.

En el aluminio no se encuentra definido el punto de fluencia, debido a esto se observa que el esfuerzo de fluencia varía de una probeta a otra, en el esfuerzo de fluencia tenemos valores más bajos en las probetas 1 y 3 que son las que se tomaron en cuenta para el análisis, a diferencia de las probetas 2 y 4 que fueron los ensayos no validos bajo los criterios del encogimiento axial, gráficas carga desplazamiento del aluminio y ensayo de tracción.

3.2. Ensayo de torsión

3.2.1. Torsión

El análisis de la torsión en una barra prismática de sección transversal circular sometida a pares de torsión T que actúan en los extremos. Como todas las secciones transversales de la barra son idénticas y cada una está sometidas al mismo par interno T , se dice que la barra está en torsión pura.

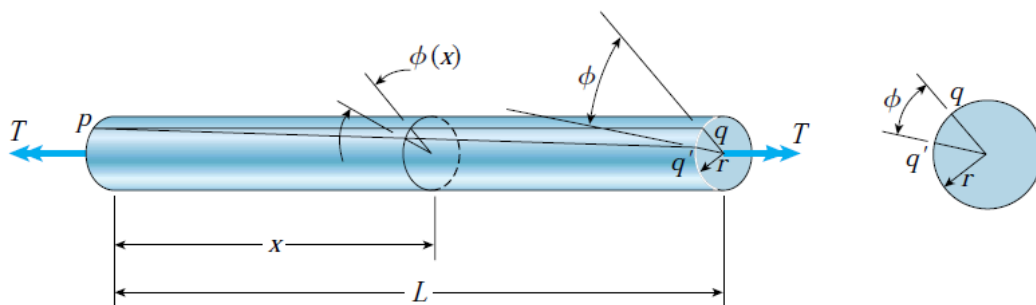


Figura 1. Torsión en una barra circular, Fuente: [6]

En la deformación de la barra, el extremo izquierdo de la barra mostrada en la Figura 31, está fijo y el extremo derecho gira, un pequeño ángulo ϕ conocido como ángulo de torsión.

La torsión en sí se refiere a un desplazamiento circular de una determinada sección transversal de un elemento torsor o una fuerza que produce un momento torsor alrededor del eje. La torsión se puede medir observando la deformación que produce en un objeto, un par determinado; es decir, la cantidad de vueltas que de un extremo con respecto al otro, es una medida de la torsión.

La deformación plástica en el ensayo de torsión es mucho mayor que en el de tracción.

3.2.2. Esfuerzo cortante y deformación angular

Si una probeta cilíndrica de longitud L es sometida a un torque T , el ángulo de torsión está dado por la siguiente ecuación:

$$\phi = \frac{T \cdot L}{G \cdot I_P}$$

Donde, G es el módulo de corte del material de la probeta e, $I_P = \frac{1}{2} \pi R^4$ es la inercia polar de la sección transversal de dicha probeta.

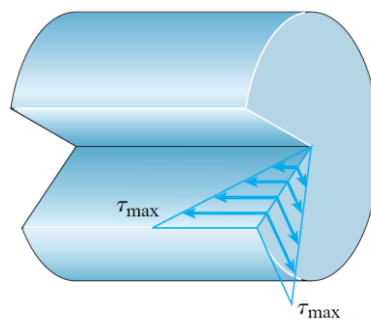


Figura 31. Distribución de esfuerzos cortantes longitudinales y transversales, Fuente: [6]

En la Figura 32 se indica la distribución de esfuerzos cortantes en una sección transversal, de una probeta de sección cilíndrica sometida a torsión. En este caso, el valor del esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{T}{W_p}$$

Donde W_p es el módulo resistente a la torsión y está definido por

$$W_p = \frac{1}{R} I_p$$

Para el ensayo de torsión la sección de las probetas a sujetar por las mordazas se cambió de circular a cuadrada de 11 mm de lado para una correcta sujeción en las mordazas en la máquina de torsión, como se indica a continuación.

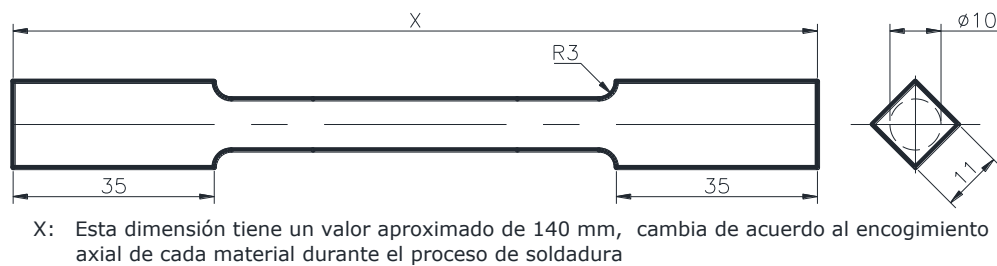


Figura 32. Dimensiones de la probeta para el ensayo de torsión
Elaborado por: Diana Castro

El ensayo de torsión se lo realizó bajo la norma: NTE INEN 140: 2013 “Ensayo de Torsión Simple para Alambre de Acero”. [19]



Figura 33. Probetas de aluminio maquinadas para el ensayo de torsión
Elaborado por: Diana Castro



Figura 34. Probeta sometida a torsión
Elaborado por: D. Castro

3.2.3. Tablas de resultados y análisis de datos del ensayo de torsión para el acero AISI 1018

Tabla 18. Resultados del ensayo de torsión del acero AISI 1018

Nº Probeta	Momento torsionante (N.mm)	Deformación angular (º)	Inercia polar (mm ⁴)	Radio promedio (mm)	Esfuerzo cortante (MPa)
1	8730,9	220	61,359	5,0	711,46
2	9025,2	90	61,359	5,0	735,44
3	8730,9	315	61,359	5,0	711,46
4	9515,7	605	61,359	5,0	775,41

Elaborado por: Diana Castro

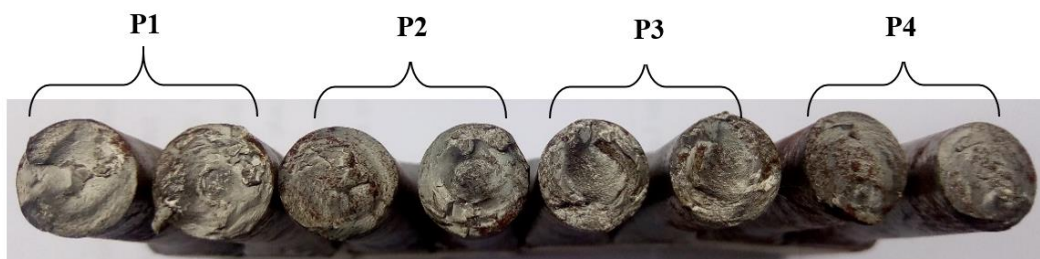


Figura 35. Fractura del ensayo de torsión del acero AISI 1018
Elaborado por: Diana Castro

El esfuerzo cortante experimental del acero AISI 1018 es 733,44 MPa es de aproximadamente un 37% más resistente que el valor promedio obtenido en los ensayos de tracción.

En el caso del acero AISI 1018, la soldadura por fricción es aceptable ya que alcanza un valor superior de datos teóricos del ensayo de tracción y por tanto también el ensayo de torsión. Por lo que se puede recomendar este proceso de soldadura para dicho material, desde los datos y características mecánicas obtenidas mediante los mencionados ensayos.

3.2.4. Tablas de resultados y análisis de datos del ensayo de torsión para el acero AISI 1045

Tabla 19. Resultados del ensayo de torsión del acero AISI 1045

Nº Probeta	Momento torsionante (N.mm)	Deformación angular (°)	Inercia polar (mm ⁴)	Radio promedio (mm)	Esfuerzo cortante (MPa)
1	8730,9	140	61,359	5,0	711,46
2	8829,0	110	61,359	5,0	719,45
3	5297,4	60	61,359	5,0	431,67
4	5101,2	60	61,359	5,0	415,68

Elaborado por: Diana Castro

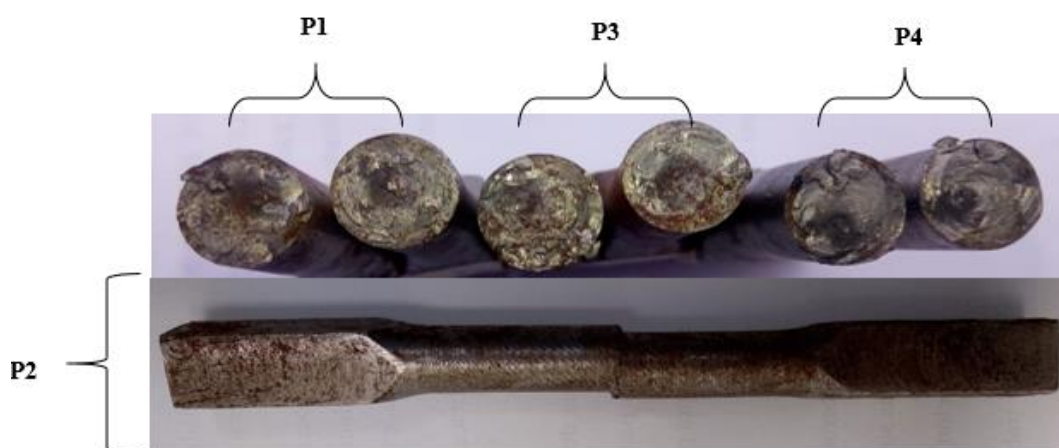


Figura 36. Fractura del ensayo de torsión del acero AISI 1045
Elaborado por: Diana Castro

El esfuerzo cortante experimental para el acero AISI 1045 es 569 MPa es de aproximadamente 32% más resistente que la tracción experimental, pero en el caso del acero AISI 1045 la soldadura por fricción no alcanza la resistencia a la tracción y por tanto tampoco la del esfuerzo cortante en el ensayo de torsión. El esfuerzo cortante es un dato importante en el diseño de partes sometidas a carga de torsión o que transmiten torque.

3.2.5. Tablas de resultados y análisis de datos del ensayo de torsión para el aluminio

Tabla 20. Resultados del ensayo de torsión del aluminio

Nº Probeta	Momento torsionante (N.mm)	Deformación angular (°)	Inercia polar (mm ⁴)	Radio promedio (mm)	Esfuerzo cortante (MPa)
1	3139,2	30	61,359	5,0	255,81
2	1962,0	300	61,359	5,0	159,88
3	3139,2	90	61,359	5,0	255,81

Elaborado por: Diana Castro

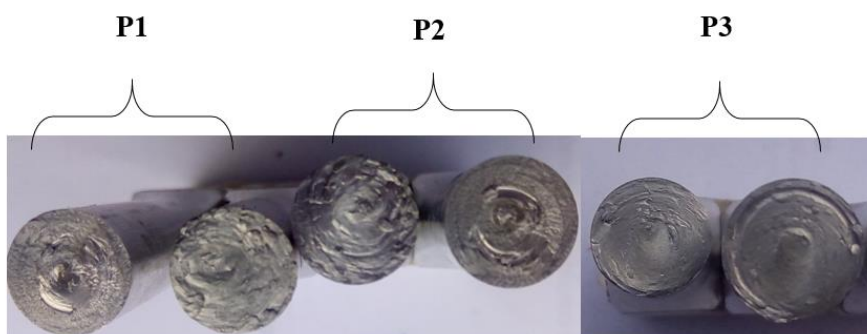


Figura 37. Fractura del ensayo de torsión del aluminio

Elaborado por: Diana Castro

En el ensayo de torsión del aluminio se tomó datos de 3 probetas dado que la primera probeta fue de prueba.

El esfuerzo cortante experimental del aluminio es 223 MPa un 50% más resistente que la tracción experimental.

3.3. Costos del proyecto técnico

Tabla 21. Análisis de costos del presente trabajo.

Materiales o actividad	Costos (USD)
Material: Acero 1018, Acero 1045, Aluminio 6063, Bronce SAE 40	140
Maquinado de probetas (32 probetas x 12usd)	384
Maquinado después de la soldadura (24 probetas x 5usd)	120
Preparación de probetas para ensayo de torsión (12 probetas x 5usd)	60
Ensayos de Tracción (12 probetas x 15 usd)	180
Ensayos de Torsión (12 probetas x 15usd)	180
Análisis Metalográfico	56
Total	1120

Elaborado por: Diana Castro

Este trabajo tiene un costo de 1.120 USD, entre materiales preparación de probetas y ensayos de tracción y torsión.

3.4. Ventajas económicas de la soldadura por fricción

El objetivo principal de los ensayos destructivos (tracción y torsión para el presente trabajo) es determinar propiedades mecánicas de los materiales, para su óptima utilización en los procesos de soldadura por fricción en productos y componentes.

La caracterización de su comportamiento permite obtener ventajas para el usuario del equipo de soldadura del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, tanto en su aplicación como los propios procesos de uniones de materiales similares. El estudio de materiales metálicos y su comportamiento en la soldadura por fricción supone ventajas en posibles aplicaciones.

A partir de este trabajo se tiene datos del ensayo de tracción y torsión en el acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio y bronce SAE 40 soldados por fricción lo cual representa una ventaja para futuros trabajos en estos materiales soldados por fricción ya se tiene información del comportamiento y características de las propiedades mecánicas en los ensayos realizados.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Las probetas se realizaron bajo normas de tracción y torsión de acuerdo a requerimientos de la máquina de soldadura y ensayos. Las probetas se fabricaron de 15 cm de longitud para poder extraer de la máquina una vez soldada, la sección de sujeción fue de forma circular y para el ensayo de tracción la sección de sujeción fue de forma prismática por requerimientos de la máquina de torsión.
- En el acero AISI 1018 se pudo identificar que después de la soldadura el material se fragilizó y falló a un lado muy cercano a la soldadura pero alcanzo valor adecuados de las propiedades mecánicas de la soldadura pero alcanzo valor adecuados de las propiedades mecánicas. El acero 1045 no se soldó, la falla se dio en la soldadura la cual se debe controlar los parámetros de una manera más adecuada, para el acero de medio carbono. En el proceso de soldadura del aluminio 6063 fue aceptable, tuvo 2 de 4 probetas con fractura copa-cono a un lado de la soldadura donde la soldadura fue más resistente que el material sin verse afectado por la temperatura, esto se determinó mediante en el ensayo de tracción y torsión.
- En las probetas de acero AISI 1018 y aluminio soldadas por fricción se obtuvieron resultados aceptables de los ensayos de tracción y torsión. A diferencia del acero AISI 1045 donde los ensayos demostraron que la soldadura por fricción para este material no fue aceptable. Y el bronce SAE 40 no fue posible soldar por sus componentes de aleación.
- La soldadura por fricción es un proceso, conveniente desde el punto de vista económico y de ambiente ya que no requiere de materiales de aporte ni gases para atmósfera controlada, y por tanto no genera gases contaminantes.

4.2. Recomendaciones

- Controlar los parámetros de soldadura por medio de procesos o tecnologías más confiables, es decir se puede automatizar la máquina de soldadura por fricción. Para obtener soldaduras que garanticen que se alcanzó los parámetros indicados como el tiempo y presión de calentamiento y presión de forja.
- Considerar que no se debe soldar por fricción materiales que tengan elementos de aleación como el plomo y estaño ya que tienen una calidad antifricción en seco.
- Considerar la soldadura por fricción para fabricar elementos soldados de acero AISI 1018 y aluminio, bajo parámetros y condiciones indicadas para los procesos de soldadura. Para aplicaciones se recomienda complementar con otros estudios.
- Revisar parámetros de soldadura en el acero 1045 ya que de acuerdo con los ensayos que se ha realizado en este trabajo no se recomienda este tipo de soldadura para dicho material.
- Soldar Bronce SAE 40 no es recomendable porque no se soldó debido a elementos de aleación de tipo antifriccional como son plomo y estaño.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, México: International Thomson Editores S.A., 2004.
- [2] «RESISTENCIA DE MATERIALES,» [En línea]. Disponible en: <https://ibiguridp3.wordpress.com/res/esf/>. [Último acceso: 17 10 2017].
- [3] «MATERIALES,» [En línea]. Disponible en: <https://china128sheila.wordpress.com/2011/07/17/ensayos-destructivos-y-no-destructivos/>. [Último acceso: 16 10 2017].
- [4] Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 109:2009, *Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente*, Quito, 2009.
- [5] R. Budynas y J. Nisbeth, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 8 ed., México: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [6] J. Gere, *Mecánica de materiales*, México: Thomson Editores, S.A., 2006.
- [7] «Definición,» [En línea]. Disponible en: <https://definicion.mx/soldadura-industrial/>. [Último acceso: 21 10 2017].
- [8] «REAL ACADEMIA DE LA INGENIERÍA,» [En línea]. Disponible en: <http://diccionario.raing.es/es/lema/m%C3%B3dulo-de-torsi%C3%B3n>. [Último acceso: 16 10 2017].
- [9] T. Lienert, *Welding fundamentals and procesos*. Materials Park, OH: ASM International, 2011.
- [10] N. Arivazhagan, «An assessment of hardness, impact strength, and hot corrosion behaviour of friction-welded dissimilar weldments between AISI 4140 and AISI 304,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 43, n° 39:679–689, p. 11, 2008.
- [11] C. Sanguña y J. Yépez, «Diseño y construcción de un equipo para soldadura por fricción de torque continuo,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2012.
- [12] A. F. WELDING, «AMERICAN FRICTION WELDING,» [En línea]. Disponible en: <https://translate.google.com.ec/translate?hl=es-419&sl=en&u=https://www.teamafw.com/&prev=search>. [Último acceso: 16 10 2017].
- [13] L. Lopéz, «SOLDADURA POR FRICCIÓN,» Universidad del BIO-BIO, Chile, 2013.
- [14] «MatWeb,» [En línea]. Disponible en: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3f2ce033f2fc4bc0b0165cc0bd044b4d>. [Último acceso: 16 10 2017].
- [15] «MatWeb,» [En línea]. Disponible en: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=4b0553daf9c245e684f2199a48179d89>. [Último acceso: 16 10 2017].
- [16] «MatWeb,» [En línea]. Disponible en: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cf21d1a6f4244720a72bd38103dde0d7>. [Último acceso: 16 10 2017].

- [17] «NORMESA,» [En línea]. Disponible en:
<http://normesa.com/productos/metales-anti-friccion/>. [Último acceso: 16 10 2017].
- [18] «MatWeb,» [En línea]. Disponible en:
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3ad1def0a06e4448950f30c9ec120e99>. [Último acceso: 16 10 2017].
- [19] Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 140:2013, *Ensayo de Torsión Simple para Alambre de Acero*, QUITO, 2013.
- [20] «Real Academia de Ingeniería,» [En línea]. Disponible en:
<http://diccionario.raing.es/es/lema/momento-de-inercia>. [Último acceso: 17 10 2017].

ANEXOS

ANEXO 1
EQUIPOS Y MÁQUINAS EMPLEADOS EN EL PROYECTO TÉCNICO

Torno CNC
Marca: Emcomat E-200 MC
Laboratorio de Ingeniería Mecánica
Universidad Politécnica Salesiana



Máquina para ensayos de tracción
Laboratorio de Ingeniería Mecánica
Universidad Politécnica Salesiana



Máquina para ensayos de torsión
Universidad Central del Ecuador
Marca: TINIUS OLSEN TESTING MACHINE



ANEXO 2

RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ESPECTROMETRÍA DE CHISPA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

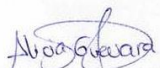


Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa


Solicitante : Srta. Diana Castro
No. Referencia : ST - 7499
Fecha : 20 - 09 - 2017
Muestras recibidas : Una probeta de soldaduras de bronce SAE 40

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	PROBETA DE SOLDADURAS SAE40 (%)
Zinc (Zn)	3,780
Plomo (Pb)	5,877
Estaño (Sn)	5,341
Fosforo (P)	0,075
Hierro (Fe)	0,155
Níquel (Ni)	0,269
Azufre (S)	0,037
Plata (Ag)	0,034
Bismuto (Bi)	0,088
Antimonio (Sb)	0,127
Selenio (Se)	0,029
Teluro (Te)	0,077
Cobre (Cu)	84,05


Ing. Alicia Guevara C. PhD.
Jefe de Departamento

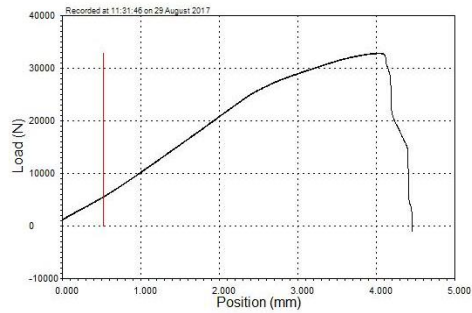



MSc. Evelyn Criollo T.
Jefe de Laboratorio

ANEXO 3

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

ACERO AISI 1018



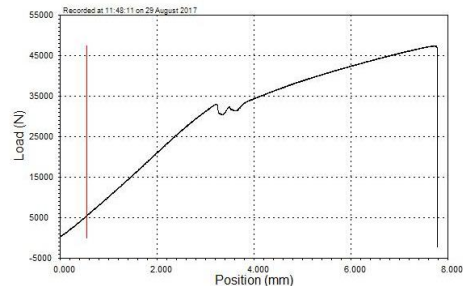
Specimen Identifier: 2

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 11:31:46
End Time: 11:32:12

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	
Load at Maximum Position	2383.536 N
Maximum Load	
Load	32791.680 N
Maximum Stress	
Maximum Stress	417.51660 MPa
Modulus of Elasticity	
Modulus	11802.87305 MPa
Yield by Offset (Stress)	
Yield	365.57227 MPa
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	5437.764 N
Extension	0.500 %



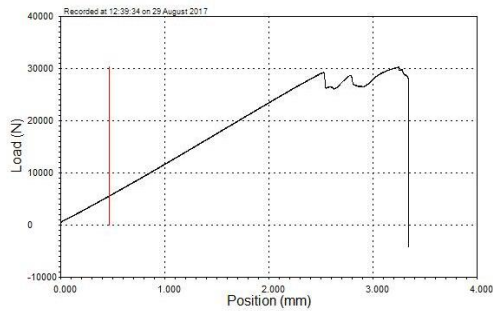
Specimen Identifier: 3

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 11:48:11
End Time: 11:48:57

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	
Load at Maximum Position	16363.688 N
Maximum Load	
Load	47317.320 N
Maximum Stress	
Maximum Stress	602.46283 MPa
Modulus of Elasticity	
Modulus	12013.75781 MPa
Yield by Offset (Stress)	
Yield	416.62982 MPa
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	5365.536 N
Extension	0.500 %



Specimen Identifier: 4

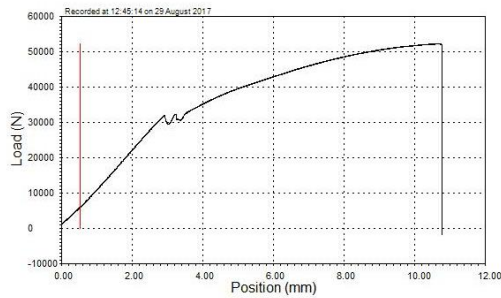
Test Date: 29 August 2017
Start Time: 12:39:34
End Time: 12:39:54

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	
Load at Maximum Position	28166.482 N
Maximum Load	
Load	30237.891 N
Maximum Stress	
Maximum Stress	385.00079 MPa
Modulus of Elasticity	
Modulus	12893.36938 MPa
Yield by Offset (Stress)	
Yield	348.44607 MPa
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	5411.968 N
Extension	0.500 %

1018-4



Specimen Identifier: 5

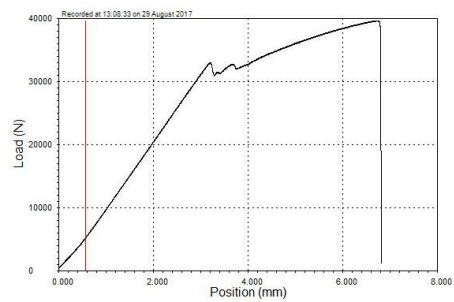
Test Date: 29 August 2017
Start Time: 12:45:14
End Time: 12:46:18

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	
Load at Maximum Position	51568.477 N
Maximum Load	
Load	52133.402 N
Maximum Stress	
Maximum Stress	663.78308 MPa
Modulus of Elasticity	
Modulus	12482.50293 MPa
Yield by Offset (Stress)	
Yield	391.30685 MPa
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	5755.053 N
Extension	0.500 %

ACERO AISI 1045



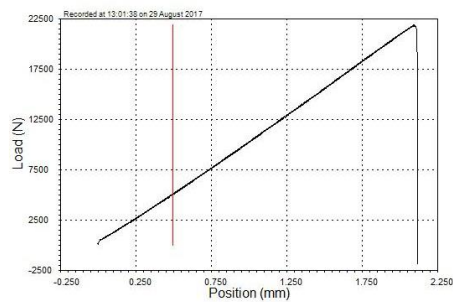
Specimen Identifier: 7

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:08:33
End Time: 13:09:13

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	36229.387 N
Maximum Load	39617.262 N
Load	504.42281 MPa
Maximum Stress	11775.32715 MPa
Modulus of Elasticity	407.86038 MPa
Modulus	0.200 %
Yield by Offset (Stress)	407.86038 MPa
Yield	5081.782 N
Offset	0.500 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	
Extension	



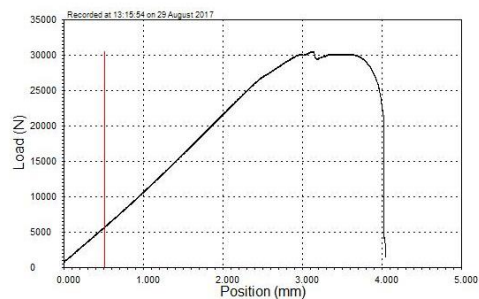
Specimen Identifier: 6

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:01:38
End Time: 13:01:50

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	17244.623 N
Maximum Load	21838.764 N
Load	278.06975 MPa
Maximum Stress	11769.26096 MPa
Modulus of Elasticity	219.56407 MPa
Modulus	0.200 %
Yield by Offset (Stress)	219.56407 MPa
Yield	4998.665 N
Offset	0.500 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	
Extension	



Specimen Identifier: 8

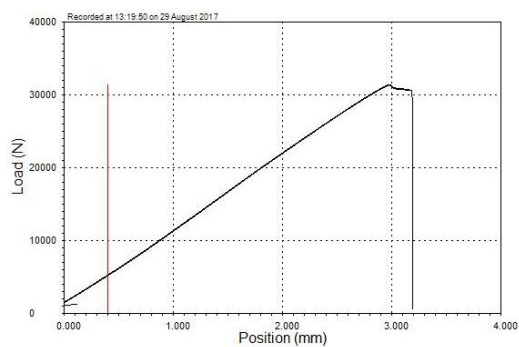
Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:15:54
End Time: 13:16:18

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	2004.337 N
Maximum Load	30457.154 N
Load	387.79251 MPa
Maximum Stress	12217.36840 MPa
Modulus of Elasticity	374.49050 MPa
Modulus	0.200 %
Yield by Offset (Stress)	374.49050 MPa
Yield	5687.984 N
Offset	0.500 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	
Extension	

1045-4



Specimen Identifier: 9

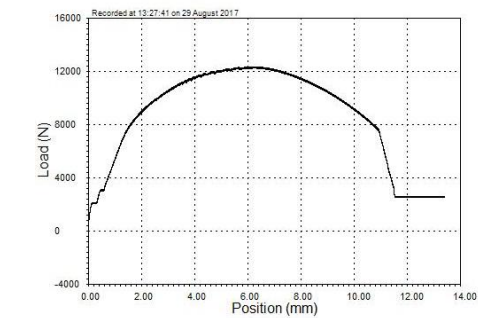
Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:19:50
End Time: 13:20:09

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	29244.750 N
Maximum Load	31365.168 N
Load	399.35370 MPa
Maximum Stress	11773.45313 MPa
Modulus of Elasticity	395.87222 MPa
Modulus	0.200 %
Yield by Offset (Stress)	395.87222 MPa
Yield	6151.430 N
Offset	0.500 %
Yield - EUL (Load)	
Yield	
Extension	

ALUMINIO



aluminio-2

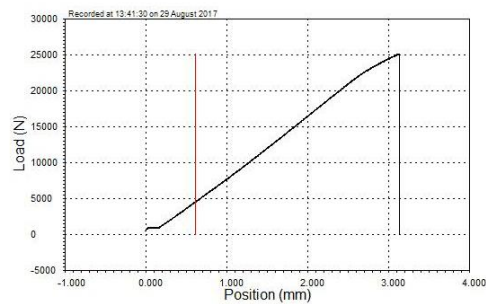
Specimen Identifier: 10

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:27:41
End Time: 13:29:01

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	2666.687 N
Load at Maximum Position	2666.687 N
Maximum Load	12312.357 N
Load	12312.357 N
Maximum Stress	156.76679 MPa
Maximum Stress	156.76679 MPa
Modulus of Elasticity	9503.87793 MPa
Modulus	9503.87793 MPa
Yield by Offset (Stress)	25.88130 MPa
Yield	0.200 %
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	2143.636 N
Yield	0.600 %
Extension	0.600 %



aluminio-4

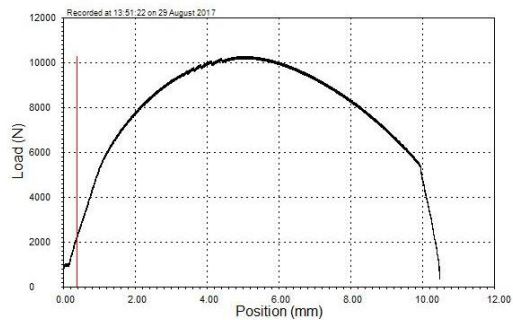
Specimen Identifier: 15

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:41:30
End Time: 13:41:48

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	20708.904 N
Load at Maximum Position	20708.904 N
Maximum Load	25096.779 N
Load	25096.779 N
Maximum Stress	319.54208 MPa
Maximum Stress	319.54208 MPa
Modulus of Elasticity	9808.86672 MPa
Modulus	9808.86672 MPa
Yield by Offset (Stress)	317.24301 MPa
Yield	0.200 %
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	4449.783 N
Yield	0.600 %
Extension	0.600 %



aluminio-1

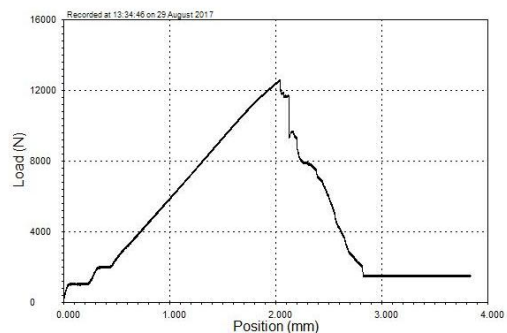
Specimen Identifier: 19

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:51:22
End Time: 13:52:24

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	722.284 N
Load at Maximum Position	722.284 N
Maximum Load	10259.009 N
Load	10259.009 N
Maximum Stress	130.62173 MPa
Maximum Stress	130.62173 MPa
Modulus of Elasticity	5861.60986 MPa
Modulus	5861.60986 MPa
Yield by Offset (Stress)	71.89614 MPa
Yield	0.200 %
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	2182.328 N
Yield	0.600 %
Extension	0.600 %



Specimen Identifier: 11

Test Date: 29 August 2017
Start Time: 13:34:46
End Time: 13:35:09

Geometry: Round
Diameter: 10.0 mm
Area: 78.5 sq. mm

Analysis Results

Load at Maximum Position	1488.420 N
Load at Maximum Position	1488.420 N
Maximum Load	12590.952 N
Load	12590.952 N
Maximum Stress	160.31297 MPa
Maximum Stress	160.31297 MPa
Modulus of Elasticity	788.54688 MPa
Modulus	788.54688 MPa
Yield by Offset (Stress)	1.01817 MPa
Yield	0.200 %
Offset	0.200 %
Yield - EUL (Load)	79.967 N
Yield	0.600 %
Extension	0.600 %

ANEXO 4

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TORSIÓN



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
TELEFAX: 2 522-665 CASILLA: 17-03-1650
Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TORSIÓN REALIZADO SOBRE PROBETAS DE ACEROS AL CARBONO Y MATERIALES NO FERROSOS Método NTE INEN 140:2013

INFORME: 13758

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA	SOLICITADO POR :	FECHAS	
CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS SOLDADAS POR FRICCIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN Y TORSIÓN PARA LOS MATERIALES: ACERO AISI 1018, ACERO AISI 1045, ALUMINIO Y BRONCE SAE 40 DE 10MM DE DIÁMETRO	SRTA. DIANA CASTRO	RECEPCIÓN	INFORME
		13/09/2017	14/09/2017

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	MATERIAL	MOMENTO TORSIONANTE (N.mm)	DEFORMACIÓN ANGULAR (°)	INERCI A POLAR (mm ⁴)	RADIO PROMEDIO (mm)	ESFUERZO CORTANTE (MPa)	TIPO DE FALLA	FOTO
1	ACERO AISI 1018	8730,9	220	61,359	5,0	711,46	Falla en la soldadura	
2		9025,2	90	61,359	5,0	735,44	Falla en la soldadura	
3		8730,9	315	61,359	5,0	711,46	Falla en la soldadura	
4		9515,7	605	61,359	5,0	775,41	Falla en la soldadura	
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- La fecha de muestreo fue proporcionada por el cliente
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²
- Soldadura realizada por fricción

ING. PAOLA VILLALBA, MSc.
DIRECTOR (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-655 CASILLA: 17-03-1650
Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TORSIÓN REALIZADO SOBRE PROBETAS DE ACEROS AL CARBONO Y MATERIALES NO FERROSOS Método NTE INEN 140:2013

INFORME: 13758

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA	SOLICITADO POR :	FECHAS	
CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS SOLDADAS POR FRICCIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN Y TORSIÓN PARA LOS MATERIALES: ACERO AISI 1018, ACERO AISI 1045, ALUMINIO Y BRONCE SAE 40 DE 10MM DE DIAMETRO	SRTA. DIANA CASTRO	RECEPCIÓN	INFORME
		13/09/2017	14/09/2017

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	MATERIAL	MOMENTO TORSIONANTE (N.mm)	DEFORMACIÓN ANGULAR (°)	INERCIÁ POLAR (mm ⁴)	RADIO PROMEDIO (mm)	ESFUERZO CORTANTE (MPa)	TIPO DE FALLA	FOTO
1	ALUMINIO	3139,2	30	61,359	5,0	255,81	Falla a un lado de la soldadura	
2		1962,0	300	61,359	5,0	159,88	Falla a un lado de la soldadura	
3		3139,2	90	61,359	5,0	255,81	Falla en la soldadura	
X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- La fecha de muestreo fue proporcionada por el cliente
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²
- Soldadura realizada por fricción

ING. PAOLA VILALBA, MSc.
DIRECTOR (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FAULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-655 CASILLA: 17-03-1650
Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TORSIÓN REALIZADO SOBRE PROBETAS DE ACEROS AL CARBONO Y MATERIALES NO FERROSOS Método NTE INEN 140:2013

INFORME: 13758

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA	SOLICITADO POR :	FECHAS	
CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS SOLDADAS POR FRICCIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN Y TORSIÓN PARA LOS MATERIALES: ACERO AISI 1018, ACERO AISI 1045, ALUMINIO Y BRONCE SAE 40 DE 16MM DE DIÁMETRO	SRTA. DIANA CASTRO	RECEPCIÓN	INFORME
		13/09/2017	14/09/2017

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:								
No.	MATERIAL	MOMENTO TORSIONANTE (N.mm)	DEFORMACIÓN ANGULAR (°)	INERCI POLAR (mm ⁴)	RADIO PROMEDIO (mm)	ESFUERZO CORTANTE (MPa)	TIPO DE FALLA	FOTO
1	ACERO AISI 1045	8730,9	140	61,359	5,0	711,46	Falla en la soldadura	
2		8829,0	110	61,359	5,0	719,45	Falla a un lado de la soldadura	
3		5297,4	60	61,359	5,0	431,67	Falla en la soldadura	
4		5101,2	60	61,359	5,0	415,68	Falla en la soldadura	
x	x	x	x	x	x	x	x	x

OBSERVACIONES:

- La fecha de muestreo fue proporcionada por el cliente
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²
- Soldadura realizada por fricción

ING. PAOLA VILLALBA, MSc.
DIRECTOR (E)